

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

**Інженерно-хімічний факультет**

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри МАХНВ  
\_\_\_\_\_ Я.М. Корнієнко

(підпис)  
“ ” \_\_\_\_\_ 2018 р.

**МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ**

**на здобуття освітнього ступеня магістр**

**з спеціальності:** 133 Галузеве машинобудування

**спеціалізація:** Інжиніринг, комп’ютерне моделювання та проектування обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв

**на тему: Модернізація установки виробництва біодизелю з розробкою реактора та випарного апарата.**

**Виконала студентка 6-го курсу, групи ЛН-71мп**

Метліна Марина Сергіївна

**Керівник проекту** канд. техн. наук, доц. О.Г. Зубрій

**Консультанти:**

охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

канд. техн. наук, доц. І.М. Ковтун

розробка стартап-проекту

канд. економ. наук, доц. Н.В. Юдіна

технологія виготовлення вала

ст. викл., канд. техн. наук Я.Г. Двойнос

автоматичний контроль і керування процесом

ст. викл., канд. техн. наук С.В. Гулієнко

**Рецензент**

\_\_\_\_\_ (посада, вчене звання, науковий степінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студентка \_\_\_\_\_ М.С. Метліна

Київ – 2018

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

**Інженерно-хімічний факультет**

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

**Освітній ступінь** – магістр

**спеціальність:** 133 Галузеве машинобудування

**спеціалізація:** Інжиніринг, комп’ютерне моделювання та проектування обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Я.М. Корнієнко

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студентці**

Метліній Марині Сергіївні

**Тема магістерської дисертації:** «Модернізація установки виробництва біодизелю з розробкою реактора та випарного апарата»

керівник магістерської дисертації Зубрій О.Г. кандидат технічних наук,  
доцент

затверджена наказом по університету від 12 листопада 2018 р. № 4139-с

**2. Термін подання студенткою магістерської дисертації:** 3 грудня 2018 р.

**3. Вихідні дані до дисертації:** продуктивність реактора – 113000 т/рік;  
температура суміші: на вході в змішувач – 40 °С, на виході – 65 °С; на вході в  
випарний апарат – 65 °С, на виході – 79 °С.

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:**

а) основна частина: обґрунтувати вибір конструкцій реактора та випарного апарата, виконати розрахунки, що підтверджують працездатність та

надійність конструкцій, а саме, параметричний, конструктивний розрахунки, розрахунки на міцність і надійність елементів конструкцій цих апаратів;

б) розробка стартап-проекту;

в) охорона праці: провести аналіз відповідності апарата до вимог охорони праці, викласти основні вимоги безпечної експлуатації установки та дій обслуговуючого персоналу у надзвичайних ситуаціях;

г) частина автоматичного керування: скласти та обґрунтувати схему автоматизованого керування установкою, скласти специфікацію приладів, що комплектують схему;

д) технологія машинобудування: розробити маршрутні карти виготовлення вала, виконати розрахунки режимів різання, розробити пристрій для свердління.

**5. Перелік графічного матеріалу:** принципова схема установки – А1, схема автоматичного керування – А1, складальні креслення: реактор – А0-А1, випарний апарат – А1, поворотний стіл – А1, вала – А2, ілюстрація графіків – 3 аркуші формату А2, ілюстрація технічної ідеї патенту – А2.

#### **6. Консультанти розділів проекту**

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Ковтун І.М.		
Розробка стартап-проекту	Юдіна Н.В.		
Технологія виготовлення вала	Двойнос Я.Г.		
Автоматичний контроль і керування процесом	Гулієнко С.В.		

**7. Дата видачі завдання** 1 вересня 2018 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	2	3	4
1	Переддипломна практика. Узгодження теми, вихідних даних, визначення джерел інформації. Добір матеріалів. Складання звіту з практики.	03.09.18	
2	Патентне дослідження. Формування змісту модернізації (на основі зміни технологічної схеми, конструкції апарату, його елементів, речовин).	11.09.18	
3	Обґрунтування актуальності проекту. Опис установки. Схема установки. Вибір і опис конструкцій ферментеру та випарного апарату. Технічна характеристика установки, апаратів	16.09.18	
4	Параметричні розрахунки: визначення основних розмірів апаратів. Розрахунок гідравлічного опору	02.11.18	
5	Розробка складальних креслень апаратів і їх складальних одиниць. Добір конструктивних параметрів конструктивних елементів апаратів	12.11.18	
6	Розрахунки на міцність. Розробка програм і супроводжуючих документів. Виконання схем	15.11.18	
7	Консультації відповідно до графіку з питань охорони праці, маркетингу, технології машинобудування, автоматизації	19.11.18	
8	Уточнення графічної частини проекту та специфікацій.	26.11.18	
9	Оформлення пояснювальної записки. Перевірка відповідності проекту діючим нормам за змістом і оформленням. Перевірка на плагіат. Підготовка до захисту. Складення плану викладення доповіді, окремих питань	28.11.18	

1	2	3	4
10	Попередній захист проекту	04.12.18	
11	Корегування проекту за результатами попереднього захисту. Отримання рецензії, відзиву. Підготовка до захисту.	10.12.18	

**Студент**

\_\_\_\_\_ М.С. Метліна  
(підпис)

**Керівник дипломного проекту**

\_\_\_\_\_ О.Г. Зубрій  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

УДК 621.436

Магістерська дисертація на тему «Модернізація установки виробництва біодизелю з розробкою реактора та випарного апарата» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; Керівник О. Г. Зубрій. – К., 2018. – 169 с.: 46 іл. Викон. – М.С.Метліна – Бібліогр.: с. 117.

Пояснювальна записка складається зі вступу, восьми розділів, висновків і списку посилань з 32 найменувань. Загальний обсяг записки становить 169 сторінок основного тексту, 46 рисунків, 41 таблиць.

Мета магістерської дисертації – проектування реактора та випарного апарату.

Записка містить опис технологічного процесу, вибір типів реактора, випарного апарату і їх місце в технологічній схемі, технічну характеристику апаратів, обґрунтування вибору конструкцій апаратів, що проектуються і принцип дії їх основних складальних одиниць та деталей, порівняння основних показників розроблюваних конструкції змішувача та теплообмінника з аналогами, патентне дослідження конструкцій апаратів. Наведено заходи, щодо охорони праці, рекомендації з монтажу та експлуатації. Проведено модернізацію установки та розроблено стартап-проект. Проведена модернізація інтенсифікувала процес масообміну. Зазначена модернізація може бути рекомендована для впровадження у виробництво. Визначено рівень стандартизації та уніфікації. Розроблено автоматичну схему керування процесом.

РЕАКТОР, БІОДИЗЕЛЬ, ПЕРЕМІШУВАННЯ, МІШАЛКА, ОБОЛОНЬ, ВИПАРНИЙ АПАРАТ

## РЕФЕРАТ

УДК 621.436

Магистерская диссертация на тему «Модернизация установки производства биодизеля с разработкой реактора и выпарного аппарата» / КПИ им. Игоря Сикорского ; Руководитель О. Г. Зубрий. - К., 2018. - 169 с.: 46 ил. Испол. – М.С.Метлина- Библиогр .: с. 117.

Пояснительная записка состоит из введения, восьми глав, заключения и списка ссылок из 44 наименований. Общий объем записки составляет 169 страниц основного текста, 46 рисунков, 41 таблиц.

Цель магистерской диссертации - проектирование реактора и выпарного аппарата.

Записка содержит описание технологического процесса, выбор типов реактора, выпарного аппарата и их место в технологической схеме, техническую характеристику аппаратов, обоснование выбора конструкций проектируемых аппаратов и принцип действия их основных сборочных единиц и деталей, сравнение основных показателей разрабатываемых конструкций смесителя и теплообменника с аналогами, патентное исследование конструкций аппаратов. Приведены мероприятия по охране труда, рекомендации по монтажу и эксплуатации. Проведена модернизация установки и разработан стартап-проект. Проведённая модернизация интенсифицировала процесс теплообмена. Указанная модернизация может быть рекомендована для внедрения в производство. Определен уровень стандартизации и унификации. Разработана автоматическая схема управлением процессом.

РЕАКТОР, БИОДИЗЕЛЬ, ПЕРЕМЕШИВАНИЕ, МЕШАЛКА, ОБОЛОНЬ, ВЫПАРНОЙ АППАРАТ

## ABSTRACT

UDC 621.436

The Master's thesis on the topic "Modernization of biodiesel manufacturing plant with the development of reactor and evaporator" / National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"; Thesis supervisor: O.G. Zubriy, - K., 2018. - 169 p.: 46 il. Developer – M.S.Metlina - References: 117 p.

The Master's thesis consists of an introduction, eight sections, conclusions and a list of references (44 sources). The total volume is 186 pages of the main text, 46 figures, 41 tables.

The purpose of the master's thesis - the design of the reactor and evaporator.

The project contains a description of technological process, the selection of mixer types, heat exchanger and their place in the technological scheme, the technical characteristics of apparatus, reasons for selection of designs of apparatus being developed and the principle of their main assembly units and parts, comparison of basic parameters of mixer and heat exchanger's designs with analogues, a patent research of apparatus constructions. Health and safety measures, installation and maintenance recommendations are given. The modernization of a plant is done and a startup project is developed. Undertaken modernization has intensified the heat exchange process. Such modernization should be recommended for implementation in production. Standardization and unification levels are defined. Automated process control system is developed.

REACTOR, BIODIESEL, MIXING, MIXER, VEOLON, STEAM APPARATUS



## Зміст

Перелік умовних позначень.....	12
Вступ.....	13
1 Призначення та область застосування установки виробництва біодизелю.....	14
1.1 Опис технологічного процесу.....	14
1.2 Вибір типу установки, апаратів, їх місце в технологічній схемі ...	16
2 Технічні характеристики основних апаратів установки .....	17
3 Опис та обґрунтування вибраної конструкції апаратів.....	18
3.1 Конструкція і принцип дії апаратів, основних складальних одиниць та деталей.....	18
3.2 Порівняння основних показників розроблених конструкцій апаратів з аналогами .....	21
3.3 Вибір матеріалів елементів конструкцій апаратів .....	23
3.4 Патентний огляд конструкцій основного обладнання установки .	23
4. Розрахунки, які підтверджують працездатність і надійність конструкцій.....	40
4.1 Розрахунок реактора .....	40
4.1.1 Матеріальний баланс процесу переетерефікації.....	40
4.1.2 Параметричний розрахунок реактора .....	44
4.1.3 Тепловий розрахунок реактора.....	49
4.1.4 Розрахунок потужності приводу при перемішуванні.....	53
4.1.5 Перевірка на міцність циліндричної обичайки.....	58
4.1.6 Розрахунок товщини еліптичного днища .....	60
4.1.7 Розрахунок оболонки апарата на міцність .....	63
4.1.8 Розрахунок вала механічного перемішуючого пристрою на вібростійкість .....	65

					ЛН71мп.066620.001 ПЗ									
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата										
Розроб.		Метліна			Модернізація установки виробництва біодизеля з розробкою реактора та випарного апарату				Літ.		Арк.		Акрушів	
Перевір.		Зубрій									9		172	
Реценз.									КПІ ім . Ігоря Сікорьського, ІХФ , МАХНВ					
Н. Контр.														
Затверд.														

4.1.9 Розрахунок вала механічного перемішуючого пристрою на жорсткість.....	68
4.1.10 Розрахунок вала механічного перемішуючого пристрою на міцність .....	73
4.2 Розрахунок випарного апарату .....	76
4.2.1 Розрахунок матеріального балансу вакуум-випарного апарату .	76
4.2.2 Розрахунок теплового балансу .....	77
4.2.3 Розрахунок коефіцієнтів тепловіддачі та теплопередачі .....	78
4.2.4 Конструктивний розрахунок випарного апарату.....	83
4.2.5 Розрахунок еліптичного днища випарного апарату під дією зовнішнього тиску.....	85
4.2.6 Розрахунок еліптичного днища сепаратора випарного апарату під дією зовнішнього тиску .....	86
5. Охорона праці і безпека в надзвичайних ситуаціях .....	89
5.1 Виробничий шум та вібрація .....	89
5.2 Небезпека враження електричним струмом .....	90
5.3 Повітря робочої зони.....	91
5.4 Освітленість .....	92
5.5 Пожежна безпека.....	92
6 Рекомендації, щодо монтажу та експлуатації апаратів установки виробництва біодизелю.....	94
7 Рівень стандартизації та уніфікації .....	96
8. Розроблення стартап-проекту.....	98
8.1 Опис ідеї проекту .....	98
8.2 Технологічний аудит ідеї проекту .....	100
8.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту .....	100
8.4 Розроблення ринкової стратегії стартап-проекту.....	107
8.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту .....	109
8.6 Висновки до розділу.....	113
Висновки.....	114
Выводы .....	115

Conclusions.....	116
Перелік посилань.....	117
Додаток А Технологія виготовлення вала .....	120
Додаток Б Автоматичний контроль і керування процесом .....	135
Додаток В Документація до патентного дослідження .....	143
Додаток Г Комп'ютерний розрахунок циліндричної обичайки апарата на дію внутрішнього тиску .....	153
Додаток Д Патенти, які використані в патентному дослідженні .....	158
Додаток Д Публікації автора .....	168

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Пілпис	Лат		

## Перелік умовних позначень

$G$  – масові витрати, кг/с;

$P$  – тиск, МПа;

$F$  – площа поверхні, м<sup>2</sup>;

$V$  – об'єм, м<sup>3</sup>;

$S$  – товщина, м;

$\rho$  – густина, кг/м<sup>3</sup>;

$\mu$  – коефіцієнт динамічної в'язкості, Па·с;

$\nu$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості, м<sup>2</sup>/с;

$C$  – теплоємність, Дж/(кг·К);

$Q$  – тепловий потік, Вт;

$W$  – швидкість, м/с

$Pr$  – критерій Прандтля;

$Re$  – критерій Рейнольдса;

$Nu$  – критерій Нусельта;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К);

$\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$K$  – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$E$  – модуль пружності, МПа;

$\sigma$  – напруження в матеріалі, МПа;

$[\sigma]$  – допустиме напруження, МПа;

$\varphi$  – коефіцієнт міцності зварного шва;

$I$  – момент інерції, м<sup>4</sup>;

$i$  – радіус інерції, м;

$\zeta$  – коефіцієнт місцевого опору;

$N$  – потужність, Вт.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Піппис	Лат		

## Вступ

Біодизель — паливо на основі жирів тваринного, рослинного і мікробного походження, а також продуктів їх етифікації.

Для отримання біодизельного палива використовуються рослинні або тваринні жири. Сировиною можуть бути рапсова, соєва, пальмова, кокосова олія, а також відходи харчової промисловості та інше.

В зв'язку із тенденцією зростання цін на нафту та забруднення навколишнього середовища, виробництво біодизелю на основі рослинної олії (особливо з рапсової) стає все більш привабливим і актуальним.

Метою даної магістерської дисертації є модернізація установки виробництва біодизелю з розробкою реактора та випарного апарату. З цією метою передбачено виконання необхідних розрахунків реактора з перемішуючим пристроєм для проведення реакції переестерифікації та випарного апарату для випарення залишків спирту.

Робота включає аналіз технологічного процесу з описом та обґрунтуванням обраних конструкції апаратів та їх місце в технологічній схемі, технічні характеристики вибраних апаратів, порівняння основних показників обраних конструкцій з аналогами, патентний огляд конструкцій, вибір матеріалів елементів конструкцій апаратів, забезпечення та перевірку відповідності розроблюваних апаратів до вимог охорони праці, проведення розрахунків, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій апаратів, рекомендації щодо їх монтажу та експлуатації, рівень стандартизації та уніфікації, схеми автоматичного керування технологічним процесом установки, розробку та описання технологічного процесу виготовлення деталі (втулка), схеми автоматичного керування технологічним процесом установки, схеми автоматичного керування технологічним процесом установки.

Завдання на магістерську дисертацію одержано 03.09.2018 під час проходження переддипломної практики в ІТТФ НАН України.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

# 1 Призначення та область застосування установки виробництва біодизелю

## 1.1 Опис технологічного процесу

Біодизель — паливо на основі жирів тваринного, рослинного і мікробного походження, а також продуктів їх етифікації.

Схема установки для виробництва біодизеля наведена на рисунку 1.1 [1].

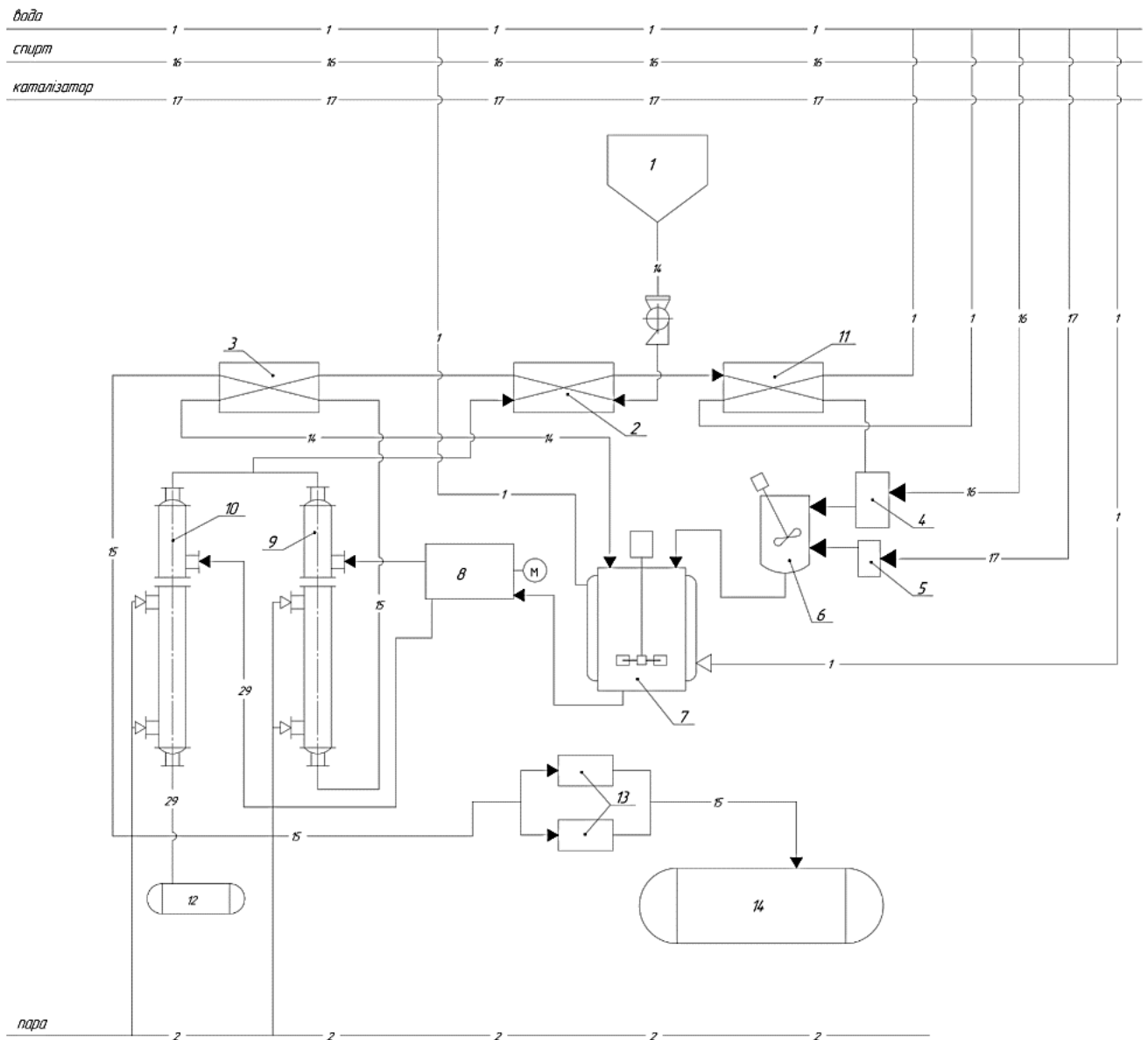
Принципова технологічна послідовність процесу отримання біодизеля наступна.

Олія з накопичувальної ємності 1 транспортується насосом через теплообмінник рекуперації 2 і теплообмінник 3, де відбувається підігрів, в реактор 7.

З ємностей 4 і 5 поступають, відповідно етиловий спирт і каталізатор КОН до змішувача 6, де відбувається їх ретельне перемішування. Далі ця суміш разом з олією потрапляє в реактор 7 де і проходить процес переетерифікації. Олія та етанол реагують у присутності гідроксиду натрію або калію до повної переетерифікації при температурі 373К. У результаті виходять складний етиловий ефір і гліцерин в якості побічного продукту. Суміш, що прореагувала розділяється на центрифугі 8, сирий біодизель відділяється від більш важкої фракції, що містить гліцерин, метанол і мило. Надлишок спирту відділяється від кожної фракції у випарних колонах 9, 10 і регенерується для повторного використання. Сирий біодизель далі очищають від мила і гліцерину. Гліцерин направляється в збірник 12.

Ефір (біодизель) направляється в теплообмінник 3, де віддає теплову енергію зустрічному потоку олії (це дозволяє скоротити споживання електроенергії в 5-6 разів). Пари етанолу конденсуються в теплообміннику-конденсаторі 2 віддаючи теплоту конденсації потоку олії. Таким чином здійснюється рекуперація тепла, зовнішня енергія на підігрів масла не витрачається. Несконденсовані пари етанолу остаточно конденсуються у водяному конденсаторі 11.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		



- 1 – ємність з олією; 2, 3 – теплообмінники; 4 – ємність з етиловим спиртом;  
 5 – ємність з каталізатором КОН; 6 – змішувач; 7 – реактор;  
 8 – центрифуга; 9, 10 – випарна колона; 11 – водяний конденсатор;  
 12 – збірник гліцерина; 13 – фільтри-сорбери; 14 – збірник біодизеля

Рисунок 1.1– Схема для виробництва біодизеля

Далі ефір піддається фільтруванню і сорбційному очищенню в блоці фільтрів-сорберів 13. Блок складається з двох ємностей заповнених сорбентом. Фільтр-сорбер затримує механічні забруднення і видаляє з ефіру каталізатор (луг) та інші домішки. Відпрацьований сорбент періодично замінюють новим через

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

люки. Для заміни сорбенту один з апаратів відключають. Застосування сорбентів дозволяє гарантувати високу якість очищення біодизеля. Отриманий біодизель направляється на склад.

## 1.2 Вибір типу установки, апаратів, їх місце в технологічній схемі

При виробництва біодизелю головну роль відіграє апарат в якому відбувається процес переестерифікації – реактор. При виборі реактора виходячи з вимог до оптимального роботи було обрано циліндричний реактор з еліптичним днищем та кришкою, приводом із валом зверху та перемішуючим пристроєм, а також оболонь для підігріву суміші та підтримання сталої температури всередині.

Описаний вище реактор задовольняє вимоги, а також забезпечує оптимальні умови проведення процесу.

Для випарення залишку спирту середовище потрапляє в випарний апарат. Було вибрано плівковий випарний апарат з несхідною плівкою, що дозволить провести випарення спирту. Випарний апарат складається з гріючої камери і сепаратора. Описаний вище випарний апарат задовольняє вимогам, а також забезпечує оптимальні умови проведення процесу випарювання.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Лат		



## 2 Технічні характеристики основних апаратів установки

Апарати призначені для виробництва біодизелю при атмосферному тиску.

Основні технічні дані та характеристики реактора:

- 1) Призначений для вирощування мікроорганізмів.
- 2) Продуктивність, т/рік 113000.
- 3) Об'єм, м<sup>3</sup>
  - номінальний 20.
  - робочий 14.
- 4) Тиск, МПа
  - у апараті робочий 0,1.
  - у оболонці 0,35.
- 5) Площа поверхні теплообміну, м 40,39.
- 6) Температура, К
  - робочого середовища 338.
  - гріючої води 340-368.
- 7) Витрати води, кг/с 2,68.
- 8) Частота обертання вала мішалки, с 5,5.
- 9) Маса виробу у робочому стані, кг 21400.

Основні технічні дані та характеристики випарного апарату:

- 1) Площа загальної поверхні теплообміну, м<sup>2</sup> 10.
- 2) Продуктивність по рідині, кг/с 3,93.
- 3) Тиск, МПа :
  - у трубному просторі 0,0199.
  - у міжтрубному просторі 0,1013.
- 4) Температура гріючої пари, К 385.
- Температура середовища, К 338.
- 5) Маса виробу у робочому стані, кг 1500.
- 6) Середовище в апараті нетоксичне, корозійне.

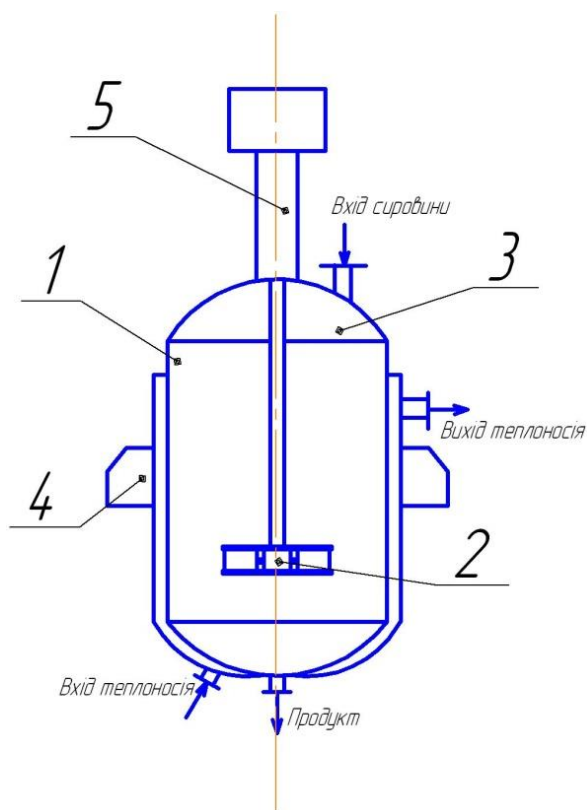
					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

### 3 Опис та обґрунтування вибраної конструкції апаратів

#### 3.1 Конструкція і принцип дії апаратів, основних складальних одиниць та деталей

Реактор.

Реактор – апарат, що призначений для проведення різноманітних технологічних процесів з рідкими агресивними або нейтральними середовищами при перемішуванні середовища в межах параметрів, вказаній в технічній характеристиці. Схема апарату зображена на рисунку 3.1.



1 – корпус; 2 – мішалка; 3 – кришка;

4 – опори; 5 – привід

Рисунок 3.1 – Конструктивна схема реактора

Апарат призначений для перемішування суміші: ріпакової олії з сумішшю етилового спирту і каталізатора. Суміш підігріта попередньо в теплообмінниках-

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Піліпис	Лат		

рекуператорах до 313 К поступає в реактор, де догрівається до 338 К та перемішується протягом 42 хв.

Апарат являє собою вертикальний сталевий циліндр з еліптичним днищем та кришкою, що знімається, перемішуючого пристрою і складається з наступних складальних одиниць: корпус, кришка, оболонь перемішуючий пристрій, ущільнення, привід.

Корпус апарата циліндричний вертикальний установлюється на фундамент або спеціальну несучу конструкцію за допомогою опор-лап.

Кришка апарата еліптична, забезпечена технологічними штуцерами.

Злив продукту проходить через штуцер знизу.

Реактор оснащений перемішуючим пристроєм турбінного типу. Обертання перемішуючого пристрою здійснюється приводом, встановленого на кришці апарата.

Контроль технологічного процесу здійснюється за допомогою контрольно-вимірювальних пристроїв, установлених на апараті.

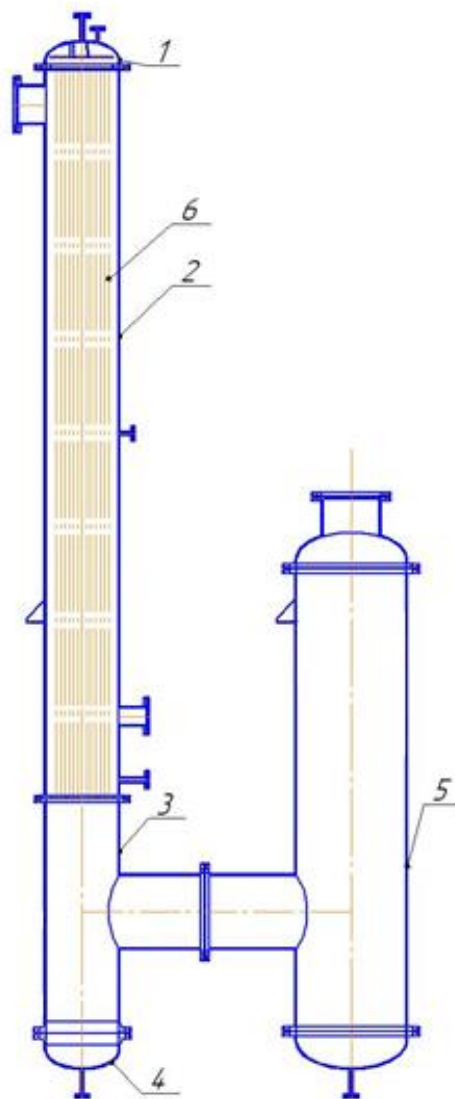
Апарат має строповочні елементи, що забезпечують можливість використання підйомних механізмів при встановленні апарата в робоче положення, а також при складанні та розбиранні.

Випарний апарат.

Випарний апарат схематично зображено на рисунку 3.2.

Апарат складається з корпусу 1, нижнього корпусу 3, еліптичного днища 4 та кришки 5, сепаратора 2 який приєднано до нижнього корпусу. В трубному просторі підтримується атмосферний тиск та температура кипіння розчину 352 К (79°C).

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Піппис	Лат		



1 – кришка; 2 – корпус верхній; 3 – корпус нижній; 4 – днище;  
5 – сепаратор; 6 – труби

Рисунок 3.2 – Схематичне зображення випарного апарату

Принцип дії. Вхідний розчин вводиться на верхню трубну решітку, звідки потрапляє в трубний простір де стікає плівкою. В міжтрубний простір 3 подається пара, яка конденсується в апараті. Після проходження тубчатки розчин подається в нижній корпус, звідки вторинна пара надходять до сепаратора, де відбувається розділення пари від концентрату.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

### 3.2 Порівняння основних показників розроблених конструкцій апаратів з аналогами

В цій магістерській дисертації розробляються конструкції реактора та випарного апарату. Метою огляду є визначення актуальності на сьогоднішньому етапі розвитку науки та техніки на світовому та українському рівнях, розроблюваних апаратів.

#### Реактор

Реактора відрізняються об'ємами, розмірами штуцерів, типом підведенням чи відведенням тепла, перемішуванням [2].

У магістерській дисертації конструкція реактора з механічним перемішувачем. Так як реакція переестерифікації найбільш ефективно проходить при температурі 65°C, то в реакторі суміш спочатку необхідно догріти, виходячи з цього потрібно підводити тепло, тому використовуємо оболонь.

Для перемішування було обрано закритого турбінну мішалку з покращеною конструкцією.

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика реакторів з різними типами мішалок

Основні технологічні показники	Турбінна мішалка	Рамна мішалка	Пропелерна мішалка
Продуктивність, кг/с (бали)	4,048(1)	4,048 (1)	4,048 (1)
Вартість, грн(бали)	7500(3)	9000(1)	8000(2)
Витрати потужності, кВт(бали)	13(1)	7(3)	12(2)
Частота обертів, об/с (бали)	5,55(2)	0,925(1)	8,88(3)
Діаметр перемішувача пристрою, м (бали)	0,6(3)	1,8(2)	0,6(3)
Сума балів	13	8	11

Перевагами обраної конструкції мішалки є менша маса порівняно з рамною та пропелерною. Менша вартість в порівнянні з іншими перемішуючими пристроями. Якщо розглядати пропелерну та турбінну мішалку за однаковими діаметрами та частотою обертів мають різну витрату потужності, у пропелерної вона менша.

Висновки: Враховуючи, що реактор з турбіною мішалкою закритого типу, який проектується, набрав більше балів порівняно з іншими, то доцільно використовувати даний варіант.

### Випарний апарат

Випарні апарати розрізняють: з природною та примусовою циркуляцією, плівкові та барботажні апарати [3].

В магістерській дисертації використовується конструкція плівкового випарного апарату. В трубному просторі речовина подаються на кипіння.

Розглянуто 3 апарати: з природною циркуляцією винесеною циркуляційною трубою, плівкові апарати з висхідною та низхідною плівкою.

Таблиця 3.2 - Порівняння основних показників обраної конструкції з аналогами

Технічна характеристика	Випарний апарат з низхідною плівкою	Випарний апарат з висхідною плівкою	Випарний апарат з природною циркуляцією винесеною циркуляційною трубою
Продуктивність по випареній вологі, кг/с (бали)	4,048 (1)	4,048 (1)	4,048 (1)
Витрати пари, кг/с (бали)	0,227 (3)	0,321(2)	0,282 (1)
Теплоносій (бали)	водяна пара (1)	водяна пара (1)	водяна пара (1)
Загальна сума балів	5	4	3

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Лат		

Висновки: Враховуючи, що випарний апарат, який проектується набрав найбільше балів в порівнянні з аналогами, то доцільно використовувати вибраний варіант.

### 3.3 Вибір матеріалів елементів конструкцій апаратів

#### Реактор

В апараті знаходиться агресивне середовище, тому всі елементи виготовляється зі сталі 12Х18Н10Т (ГОСТ 4986 – 79). Для опори реактора використовується сталь Ст.3сп (ГОСТ 380 – 94).

Для виготовлення кріпильних елементів обрано сталь 35Х ГОСТ 7798 – 70 для болтів та ГОСТ 5915 – 70 для гайок.

Прокладки виготовлено із пароніту ПОН-А за ГОСТ 481-80.

#### Випарний апарт

Для всіх елементів, які торкаються агресивного середовища використовуємо сталь 12Х18Н10Т (ГОСТ 4986 – 79). Болти виготовлено зі сталі 35 за ГОСТ 1050-88. Шайби зі сталі Ст3 за ГОСТ 380-94.

Прокладки виготовлено із пароніту ПОН-А за ГОСТ 481-80.

### 3.4 Патентний огляд конструкцій основного обладнання установки

Предметом патентного пошуку є: ємкісний апарат, перемішуючий пристрій та випарний апарат.

Результати патентних досліджень:

Випарний апарат [4].

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.3. Даний випарний апарат працює наступним чином продукт подається до труби вводу продукту 1, потрапляє

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Пілпис	Лат		

в кільцевий канал на зовнішній поверхні якого розміщені перегородки 21, далі продукт рухається вгору по каналу, перетікаючи через перехідну трубу потрапляє до внутрішньої камери. Теплоносій подається в внутрішній кільцевий канал 13 через штуцери 14. Внаслідок чого продукт починає випаровуватись, утворена пара виходить через штуцери для випуску пари 7. В внутрішній камері для забезпечення стікання тонкої плівки продукту по стінках барабану 2 розміщено ножі 9.

Винахід відноситься до випарних апаратів, а саме до плівкових випарних апаратів, перемішування та випаровування тонкої плівки рідини або сушарка для тонких плівок. Випарник містить барабан 2, що містить штуцер вводу продукту 1, розташований в верхній частині 4 барабана 2, а штуцер виведення продукту 5, розташований у нижній частині 6 барабану 2, випуск пари 7 і мішалка 8. Випарник додатково включає в себе нагрівальний кожух 11, розташований в положенні оточувати барабан 2 і нагрівати продукт в барабані 2. Пристрій подачі продукту 1 розташований за межами барабана 2 і простягається від нижньої частини 6 барабана 2 до впускного отвору продукту 3 в корпусі верхньої частини 4 барабана 2. Труба для подачі продукту 1 розташовується в безпосередньому контакті з нагрівальним кожухом 11.

#### Переваги:

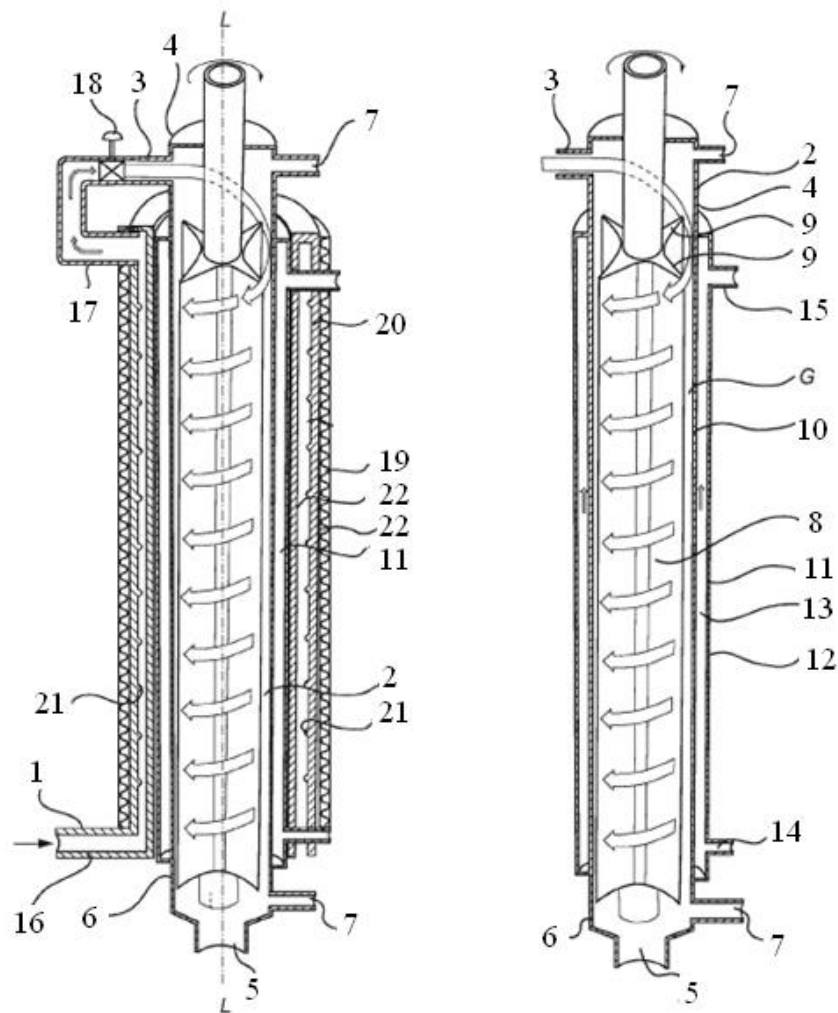
1. Збільшена поверхня теплообміну з застосуванням попереднього нагріву в кільцевому каналі між внутрішньою стінкою барабану та внутрішньою стінкою нагрівального кожуху при однакових габаритних розмірах;
2. Можливість контролю подачі продукту до внутрішньої частини барабану.
3. Менші втрати теплоти в навколишнє середовище.

#### Недоліки:

1. Складність виготовлення конструкції;
2. Ускладнений ремонт та очистка кільцевого каналу від забруднень.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Лат		





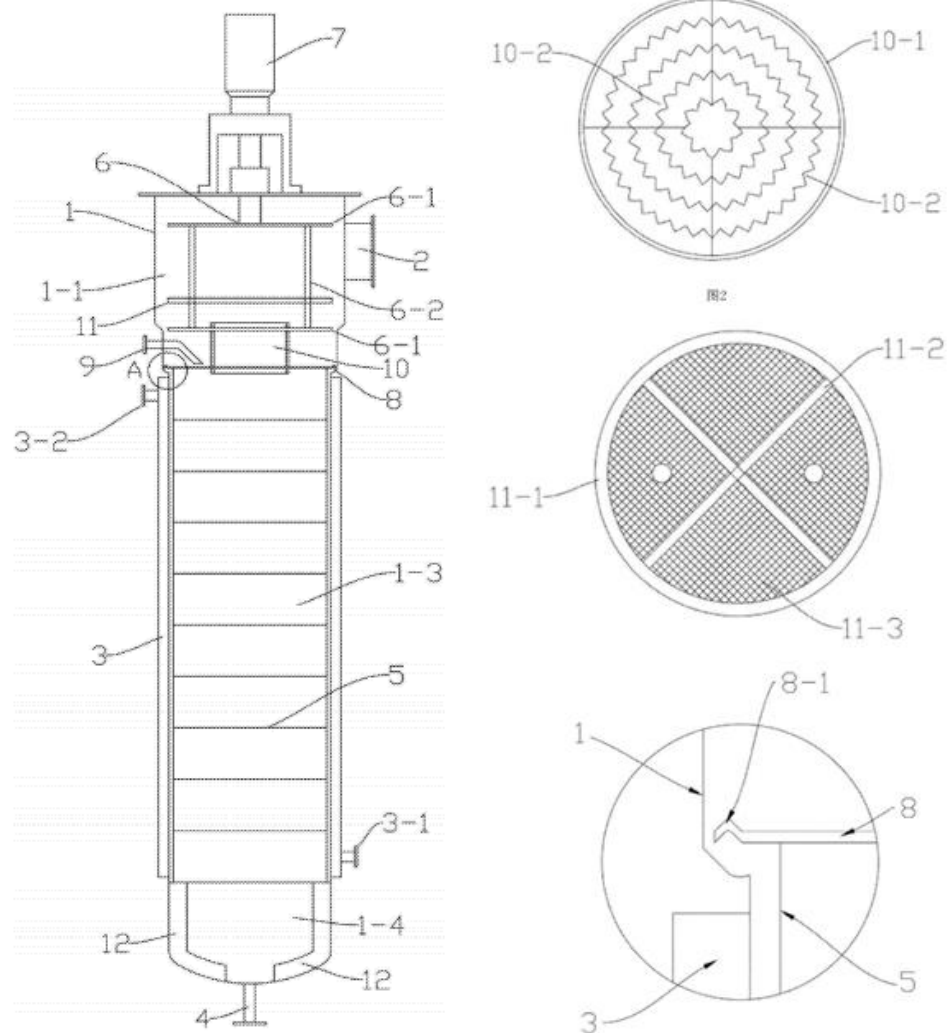
1 – штуцер вводу продукту; 2 – барабан; 3 – впускний отвір; 4 – верхня частина барабана; 5 – штуцер вводу продукту; 6 – нижня частина барабана; 7 – випуск пари; 8 – мішалка; 9 – ножі; 10 – внутрішня стінка; 11 – нагрівальний кожух; 12 – зовнішній корпус; 13 – кільцевий канал; 14 – вхід теплоносія; 15 – вихід теплоносія; 16 – вхідна частина; 17 – перехідна труба; 18 – клапан; 19 – ізоляція; 20 – двостінна камера попереднього нагріву; 21 – перегородки; 22 – дві протилежні стінки

Рисунок 3.3 – Випарний апарат

Роторний плівковий випарний апарат [5].

Схема запатентованої конструкції роторного плівкового випарного апарату наведена на рисунку 3.4.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Піліпис	Лат		



- 1 – циліндричний корпус; 2 – штуцер відводу пари; 3 – нагрівальний кожух;  
 4 – штуцер відводу продукту; 5 – скребки; 6 – тримач; 7 – привід;  
 8 – розподільний диск; 9 – штуцер подачі продукту ; 10 – тканина;  
 11 – сепаратор; 12 – колектор

Рисунок 3.4 – Схема конструкції роторного апарату

Апарат працює наступним чином продукт подається до вхідного штуцеру подачі продукту 9 потрапляє на розподільний диск 8 та вигляді тонкої плівки рідини стікає по внутрішній циліндричній поверхні корпусу апарату, зовні якого подається теплоносії у нагрівальний кожух 3. Для формування тонкої плівки рідини у апараті на секціях розміщено скребки 5. Плівка рідини внаслідок підводу теплоносія через штуцер 3-2 в нагрівальний кожух 3 починає випаровуватись, пари рухається вгору,

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

де проходячи через тканину 10 та сепаратор 11 крапельки концентрованої рідини уловлюються та відводяться до нижньої частини апарату знову випаровуються та відводяться через штуцер для відводу продукту 4.

Даний винахід розкриває роторних тонкоплівкових випарних апаратів, що містить циліндричний корпус 1 і канал внутрішнього простору 3 розділений вертикально встановленою зоною розподілу від верхньої частини до нижньої частини, зону тканини, зони випаровування і накопичення, на циліндрі, встановлений циліндричний тримач скребків 6, що відрізняється тим, що верхня частина держателя скребків 6 прикріплений до диска 11 в круговій кромці нижньої тканини в області тканини бухти, згаданому розподільний диск 8 і суміжна стіна циліндра на краю тканини диска забезпечений вгору виступом, подача труби в верхньому кінці корпусу і розширенні в області тканини, що примикає до випускного кінця поверхні диска, між пластинами і нижче тканиною обертається скребки.

#### Переваги:

1. Інтенсифікація процесів тепло та масо обміну внаслідок формування тонкої плівки рідкої фази продукту, що переробляється в апараті;
2. Нова конструкція розподільного диску запобігаю витоку та накопиченню робочого розчину у нижній частині апарату і уникнути викинення області низьких температур;
3. Запобігання значного піноутворення внаслідок проведення двоступеневого піновловлювання, внаслідок чого поліпшуються властивості продукту.

#### Недоліки:

1. Складність очистки внутрішньої частини випарного апарату;
2. Більша вартість виготовлення, внаслідок збільшення металоємності конструкції.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

Відцентровий скребковий пристрій для плівкового випарного апарату [6].

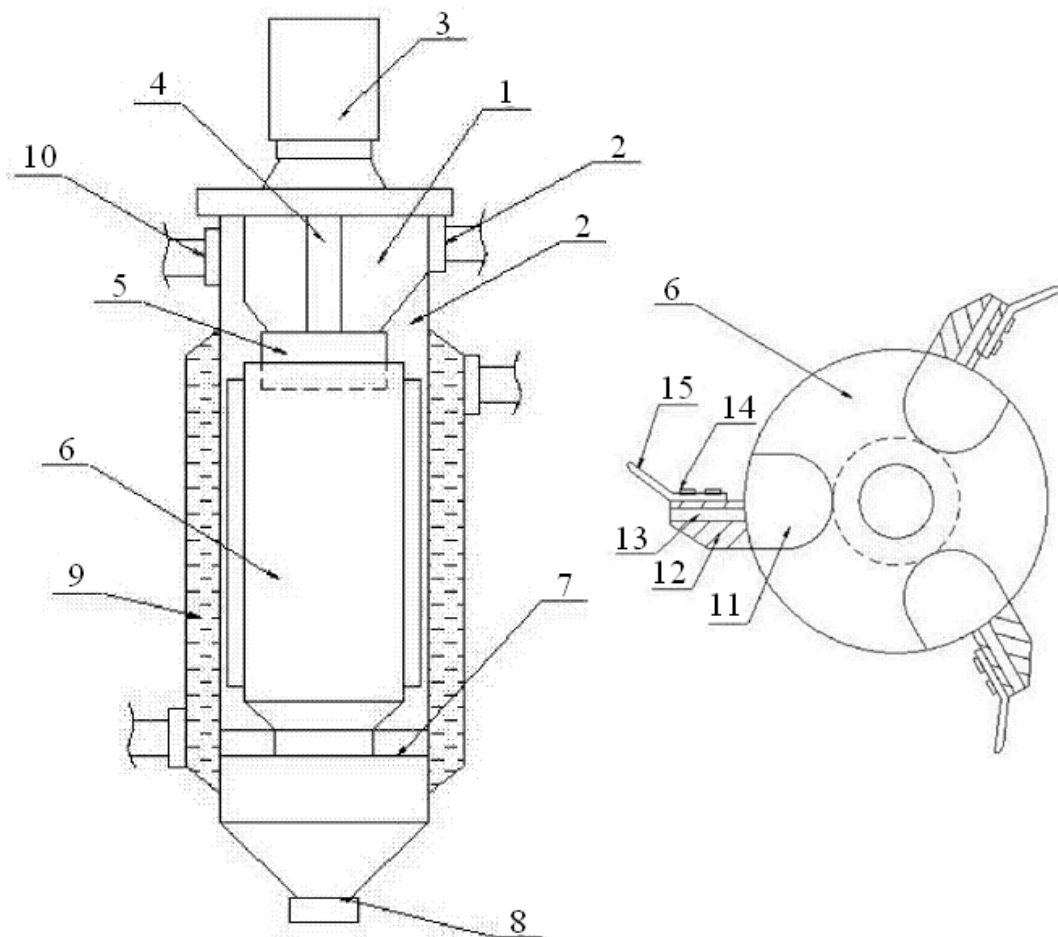
Конструкцію відцентрового скребкового пристрою до плівкового випарного апарату наведено на рисунку 3.5. Даний винахід відноситься до обладнання апаратів, що концентрує багатокomпонентні рідкі системи, зокрема до відцентрових плівкових випарних апаратів.

Апарат працює наступним чином: спочатку матеріал вводять з штуцера подачі 2 всередину бункера 1, який обертається з опорним елементом 5 та матеріалом для подальшого впорскування матеріалу в буферний резервуар 11; потім двигун 3 обертає ротор, через привідний вал 4, та обертає лопатки 6, які обертаються на високій швидкості. При цьому виникає відцентрова сила інерції під дією обертання поворотного лопаті 6, матеріалу, що виштовхується з труби мікроподачі 13, на лопатку 15 і потрапляє на гарячу поверхню внутрішньої стінки, нагрівального кожуху 9 відсіку. Продукт починає швидко випаровуватись та концентруватись, вторинна пара виходить через штуцер відведення вторинної пари 10.

Переваги:

1. Інтенсифікація процесу розподілення тонкої плівки рідини на поверхнях теплообміну, внаслідок чого збільшується ефективність процесів теплообміну;
2. Підвищення продуктивності розподілення робочої рідини;
3. Простота виготовлення конструкції відцентрового скребкового пристрою для плівкового випарного апарату.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Лат		



- 1 – бункер для подачі продукту; 2 – штуцер введення продукту; 3 – двигун;  
 4 – привідний вал; 5 – опорний елемент; 6 – ротор; 7 – нижній шарнір опори;  
 8 – штуцер відведення концентрованого продукту; 9 – нагрівальний кожух;  
 10 – штуцер відведення вторинної пари; 11 – ємність для розпилення;  
 12 – фіксатор; 13 – труба для мікро-подачі; 14 – кріпильне з'єднання;  
 15 – лопатка

Рисунок 3.5 – Конструкція відцентрового плівкового випарного апарату

Недоліки:

1. Складність розпилення високов'язких розчинів та розчинів, які містять механічні домішки, внаслідок забиття труби для мікро-подачі;
2. Складність очистки внутрішньої теплообмінної поверхні.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Лат		

Плівковий випарний апарат з низхідною плівкою рідини [7].

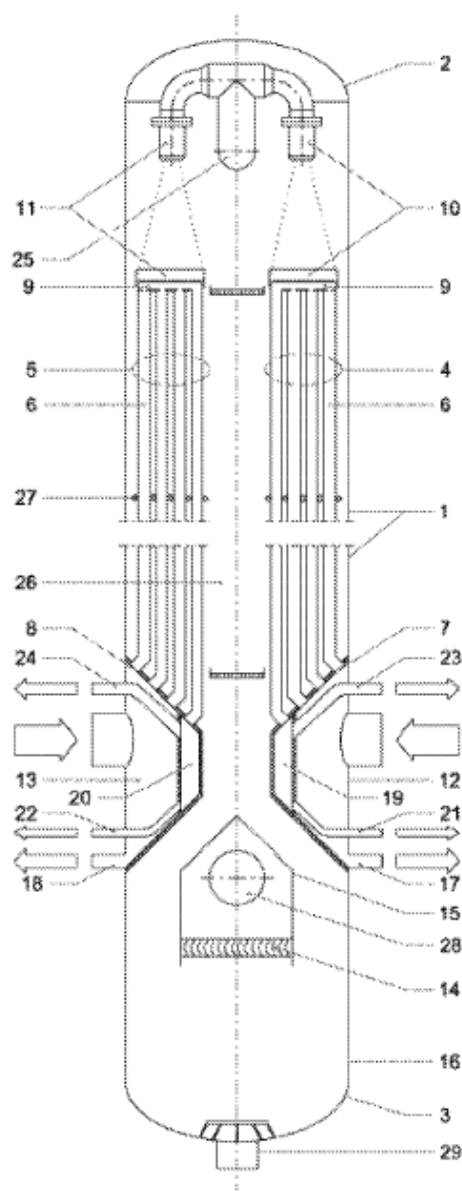
Конструкцію плівкового випарного апарата з низхідною плівкою рідини наведено на рисунку 3.6. Дане обладнання відноситься до випарних апаратів з низхідною плівкою рідини, та застосовується для концентрування розчинів.

Апарат працює наступним чином: рідина, яку необхідно концентрувати спрямовується в верхню частину випарника через впускну трубу 25 і розподіляється через пристрої розподілу рідини 10, 11, щоб стікати по зовнішній поверхні вертикальних труб 6 рівномірним рідким шаром. Частина рідини випаровується на поверхні теплопередачі, а утворена пара проходить через паровий простір 26 між трубчастими пучками 4, 5 до нижньої частини випарника, звідки вона проходить через сепаратор 14 до парогенераторну камеру 15 і далі вилучається через випускний отвір 28.

Невипарена частина потоку рідини тече вниз уздовж нахиленої трубної пластини 7, 8 і стікає до заповненого рідиною простору 16 нижньої частини, звідки випарена рідина вилучається через штуцер 29. Обидва трубні пучки 4, 5 та можливі пучки труб можуть мати власні циркуляції рідини, внаслідок чого, наприклад, при концентрації рідини, циркуляції рідини зможуть мати різні концентрації. Різні концентрації тримаються окремо один від одного, розділяючи рідкий простір 16 нижньої частини на перегородки у потрібні відсіки, в результаті чого паровий простір є загальним для всіх частин.

Можна також розмістити перегородки у паровому просторі між пучками труб 4, 5, щоб утворити відокремлені парові прогалини. Завдяки цьому можна організувати два етапи випаровування в одному випарнику.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		



1 – циліндричний корпус; 2, 3 – еліптичні днища; 4, 5 – трубні пучки; 6 – труби; 7, 8 – трубні пластини; 9 – збирач; 10, 11 – розподілювачі рідини; 12, 13 – впускні камери пари; 14 – сепаратор; 15 – камера парогенераторна; 16 – ємність для перекачування; 17, 18 – сполучні деталі; 19, 20 – розділяюча поверхня; 21, 22 – випускні отвори; 23, 24 – простір для відведення парового потоку; 25 – впускна труба; 26 – паровий простір; 27 – підтримуючі структури; 28 – випускний отвір; 29 – штуцер відведення концентрату

Рисунок 3.6 – Конструкція плівкового випарного апарату з низхідною плівкою

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Пілпис	Лат		

Теплоносій (гріюча пара) подається через впускну камеру 12, 13 в внутрішню поверхню трубних пучків 4, 5. Внаслідок чого тепло від теплоносія передається через теплообмінну поверхню до рідини, що стікає вниз по зовнішній поверхні трубного пучка 4, 5.

Переваги:

1. Підвищення ефективності теплопередачі через труби, які розміщуються пучками та нахилений конструкції трубної плити;
2. Можливість використання парових потоків, які містять в собі неконденсовані гази, як теплоносій;
3. Самоочищення гріючих труб, внаслідок того, що конденсат стікає вниз та при руху гріючої пари вгору;
4. Необмежений рух пари по апарату через використання центральної труби великого діаметру.

Недоліки:

1. Підвищення вартості виготовлення конструкції, внаслідок складності виготовлення нахиленої поверхні трубної плити;
2. Не досить обґрунтоване розміщення сепаратора для вловлювання крапель рідини з вторинної пари.

Трубчастий елемент теплообмінника [8].

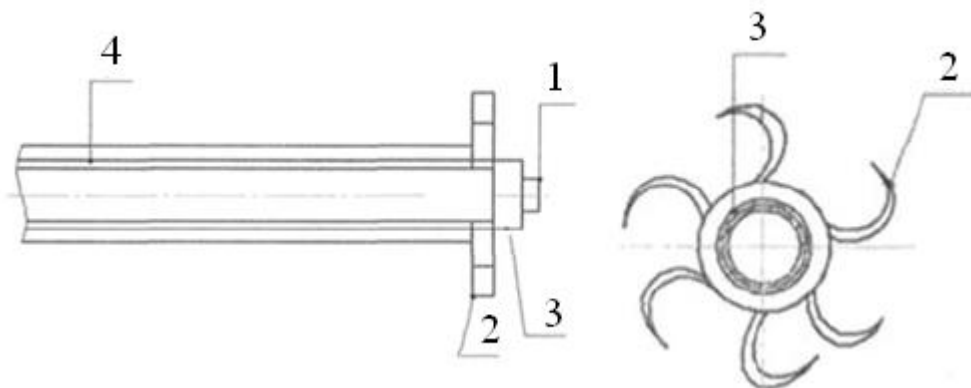
Конструкцію трубчастого елемента теплообмінника зображено на рисунку 3.7. Корисна модель належить до теплообмінної апаратури і може бути використана в енергетичних, теплообмінних та холодильних установках. Конструкція трубчастого елемента теплообмінника, що пропонується, призначена для теплообміну, при якому повітря надходить в ролі холодильного середовища і теплота передається через стінку.

Трубчастий елемент теплообмінника працює наступним чином. Робота трубчастого елемента теплообмінника полягає в наступному: теплоносій, що охолоджується, рухається усередині трубчастого елемента 1, віддає тепло повітрю,

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		



яке подається зовні труби, крильчатка 2, що кріпиться за допомогою допоміжних елементів 3, турбулізує повітря та зменшує та зменшує товщину пристінного ламінарного шару.



1 – труба; 2 – крильчатка; 3 – допоміжний елемент; 4 – пластина

Рисунок 3.7 – Трубчастий елемент теплообмінника

Переваги:

1. Підвищення ефективності процесу теплообміну внаслідок турбулізації пристінного ламінарного шару біля теплообмінної поверхні труб.

Недоліки:

1. Складність виготовлення та монтажу конструкції.

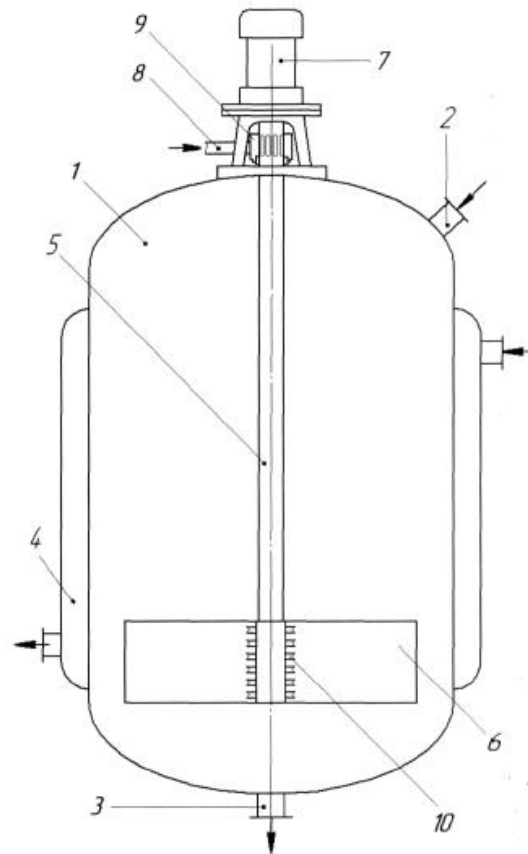
Ферментер [9].

Запропоновану конструкцію ферментеру зображено на рисунку 3.8. Корисна модель належить до апаратів з перемішувальним пристроєм і може використовуватись в біотехнічних виробництвах і харчовій промисловості.

Ферментер працює наступним чином: середовище подається в корпус 1 через патрубок 2. Перемішування відбувається за допомогою мішалки, встановленої на валу 5, який є порожнистим, що забезпечує подачу по ньому повітря через трубопровід для подачі 8. Вал обертається за допомогою привода 7, при цьому у верхній частині вала існує ділянка, де є 40 отвори для подачі повітря. Ця ділянка охоплена манжетним елементом 9. Повітря проходить по валу 5 і через

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Піппис	Лат		

форсунки 10 вводиться у середовище, в зону перемішування, що забезпечується лопатями 6. Готова суміш виводиться через патрубок 3. Для регулювання температури використовується оболонка 4.



1 – корпус; 2 – патрубок подачі; 3 – патрубок вивантаження; 4 – оболонка;  
5 – вал; 6 – лопаті; 7 – привідний пристрій; 8 – трубопровід подачі кисню;  
9 – манжетне ущільнення; 10 – форсунка

Рисунок 3.8 – Ферментер

Переваги:

1. Підвищення процесу збагачення повітрям рідких сумішей;
2. Забезпечення рівномірного розподілу повітря в загальному об'ємі апарата;
3. Зменшення втрат енергії на перемішування.

Недоліки:

1. Складність виготовлення додаткових форсунок.

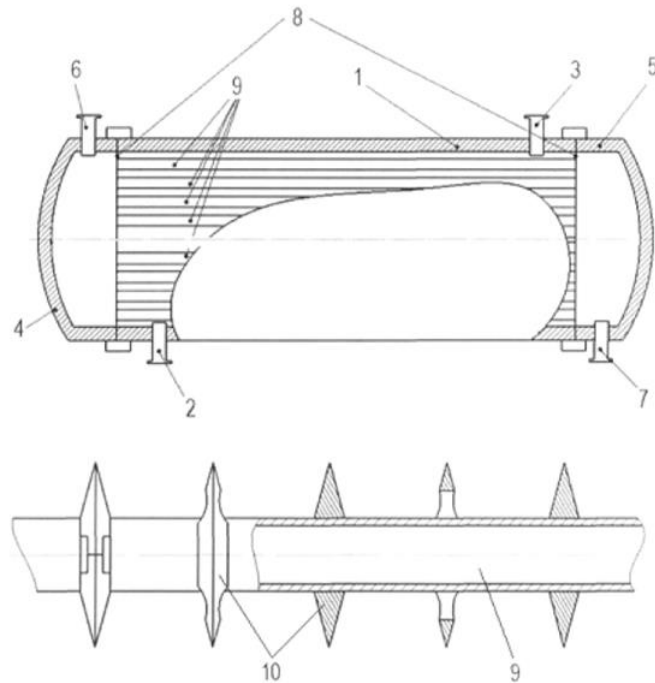
					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Лат		

Кожухотрубний теплообмінник [10].

Запропоновану конструкцію кожухотрубного теплообмінника наведено на рисунку 3.9. Корисна модель належить до теплообмінних апаратів і може бути використана в харчовій, хімічній, нафтопереробній, фармацевтичній та в інших галузях промисловості.

Кожухотрубний теплообмінник працює наступним чином. Рідина, яку потрібно нагріти або охолодити, під тиском надходить по штуцеру 7 в камеру кришки 5. Далі рідина направляється по пучках теплообмінних трубок 9 крізь трубні решітки 8 в наступну камеру, яка утворюється між кришкою 4 і трубною решіткою 8. Таким чином рідина поступово нагрівається або охолоджується, проходячи всі пучки теплообмінних трубок 9, і з потрібною температурою відводиться з апарата по штуцеру 6. Всередину циліндричного кожуха 1 по штуцеру 2 надходить нагріваючий або охолоджуючий теплоносіє, що після відводиться по штуцеру 3. В кожухотрубному теплообмінному апараті використовуються теплообмінні трубки 9, на зовнішній поверхні яких розташовані виступи у вигляді пружинних дисків 10, що мають пірамідальний переріз з отворами. В міжтрубному просторі за рахунок виступів у вигляді 5 пружинних дисків з отворами відбувається збурення потоку, що покращує проходження процесу теплообміну та одночасно збільшується поверхня тепловіддачі з зовнішньої поверхні труб.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Піппис	Лат		



1 – циліндричний кожух; 2 – патрубок підведення; 3 – патрубок відведення;

4, 5 – кришки; 6 – штуцер введення; 7 – штуцер відведення; 8 – трубна решітка; 9 – труба; 10 – рельєфна поверхня

Рисунок 3.9 – Кожухотрубний теплообмінник

Переваги:

1. Інтенсифікація процесу теплообміну внаслідок турбулізації потоку в міжтрубному просторі із збільшенням поверхні площі контакту.

Недоліки:

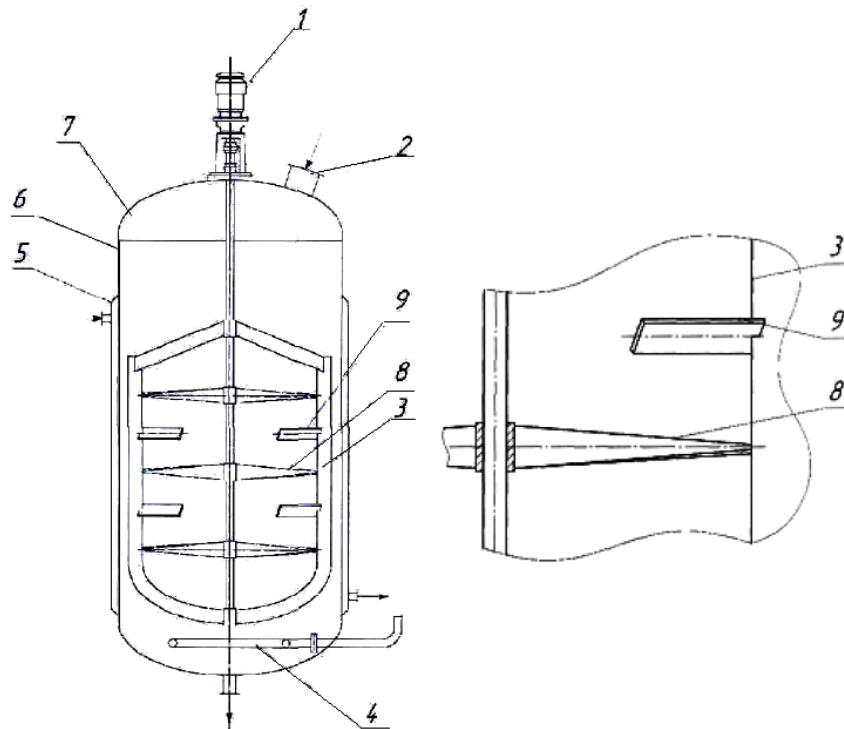
1. Складність монтажу труб з рельєфною поверхнею та їх зварювання на труби.

Апарат з перемішуючим пристроєм [11].

Конструкцію апарата з перемішуючим пристроєм зображено на рисунку 3.10. Апарат працює наступним чином. Середовище подається через вхідний патрубок 2. Перемішування відбувається за допомогою мішалки 3 із гвинтовими перегородками 8 та додатковими пластинами 9, які нахилені під кутом до напрямку колової швидкості мішалки. Крутний момент передається на вал від

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Піліпис	Лат		

приводу 1. Для регулювання температури використовується оболонка 5. Аерація середовища відбувається за рахунок барботера 4.



1 – привод; 2 – вхідний патрубок; 3 – мішалка; 4 – барботер; 5 – оболонка;  
6 – циліндричний корпус; 7 – кришка; 8 – гвинтова перегородка; 9 – додаткова  
пластина

Рисунок 3.10 – Апарат з перемішуючим пристроєм

Переваги:

1. Інтенсифікація процесу перемішування суспензій завдяки створенню вертикальних потоків в об'ємі рідини;
2. Простота конструкції.

Недоліки:

1. Складність перемішування високов'язких суспензій та емульсій.

Лопатева мішалка [12].

Конструкцію схематично зображено на рисунку 3.11.

Лопатева мішалка складається з корпусу з кришкою, вхідним і вихідним патрубками, привода, валу, на якому закріплено лопатевої мішалки. Лопатеву

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Піліпис	Лат		

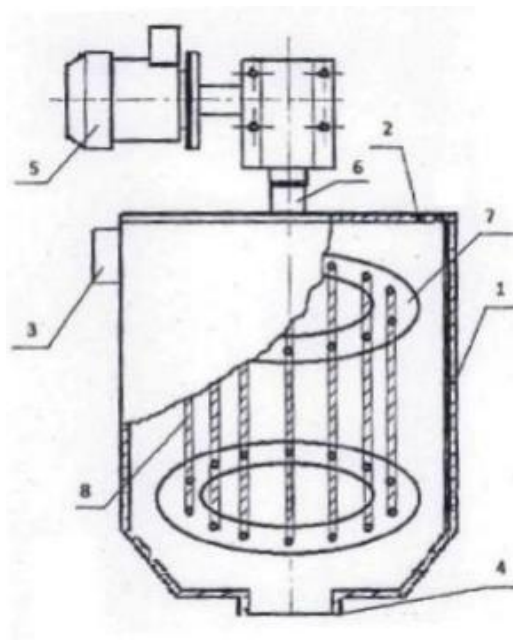
мішалку виконано у вигляді "білячої клітки", що включає принаймні два диски, діаметр яких менший корпусу мішалки. На дисках вмонтовані поворотні лопаті з можливістю зміни кута повороту по відношенню до дисків за рахунок посадочних пазів, розташованих в місцях закріплення лопатей на дисках.

Перевага:

1. досягнення рівномірного поля турбулентності та гомогенізації середовища по всьому робочому об'єму мішалки.

Недоліки:

1. велика металоємність конструкції.



1 – корпус; 2 – кришка; 3 – вхідний патрубок; 4 – вихідний патрубок;  
5 – привід; 6 – вал; 7 – диск; 8 – поворотні лопаті.

Рисунок 3.11 – Лопатева мішалка

Ферментер з вібраційним перемішуючим пристроєм [13].

Схематично зображений на рисунку 3.12. Реактор має насадки перемішуючого пристрою, які мають конічну форму та містять перфорацію з отворами конічної форми, що при русі вала додатково диспергують газову фазу.

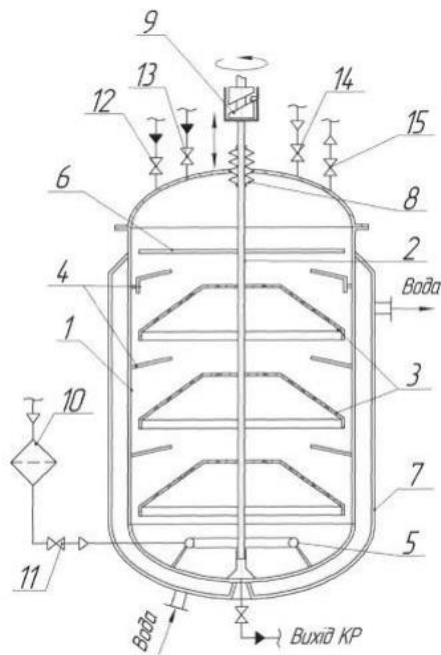
Переваги:

1. оптимізація масообмінних процесів.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Піліпис	Лат		

Недоліки:

1. висока вартість оригінальних деталей.



- 1 – корпус; 2 – вал; 3 – перемішуючий пристрій; 4 – кільцеві перегородки;  
 5 – барботер; 6 – піногасник; 7 – оболонь; 8 – сильфон; 9 – привід;  
 10 – повітряний фільтр; 11 – штуцер для подачі повітря;  
 12 – штуцер для подачі середовища;  
 13 – штуцер для подачі посівного матеріалу;  
 14 – штуцера для подачі гострої пари;  
 15 – штуцера виходу відпрацьованого повітря.

Рисунок 3.12 – Ферментер з вібраційним перемішуючим пристроєм

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

## 4. Розрахунки, які підтверджують працездатність і надійність конструкцій

### 4.1 Розрахунок реактора

Мета: визначення основних конструктивних та енергетичних показників реактора, призначеного для отримання біодизелю.

#### 4.1.1 Матеріальний баланс процесу переестерифікації

Мета: розрахувати матеріальний баланс процесу переестерифікації, виходячи з якого знаходимо співвідношення вхідних речовин та вихідних продуктів реакції.

Вихідні дані:

густина ріпакової олії, кг/ м <sup>3</sup>	916;
маса ріпакової олії m <sub>1</sub> , кг	1000;
маса КОН m <sub>12</sub> , кг	16,72;

Розрахуємо кількість реагентів необхідних для отримання етилових ефірів жирних кислот ріпакової олії [21]. Обчислення проведемо для 1000 кг ріпакової олії.

Маса, кг	m <sub>1</sub> =1000	m <sub>2</sub>	m <sub>3</sub>	m <sub>4</sub>
	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{COOR} \\   \\ \text{CHOON} \\   \\ \text{CH}_2\text{COOR} \end{array}$	$+ 3\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightleftharpoons$	$3\text{RCOOC}_2\text{H}_5 +$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{-OH} \\   \\ \text{CH}_2\text{-OH} \\   \\ \text{CH}_2\text{-OH} \end{array}$
Молекулярна	μ <sub>1</sub>	μ <sub>2</sub>	μ <sub>3</sub>	μ <sub>4</sub>
маса, кмоль	895,5	46,06	313,86	92,09

де m<sub>2</sub>, m<sub>3</sub>, m<sub>4</sub> – маса етанолу, жирної кислоти та гліцерину відповідно;

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Лат		



$\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4$  – молекулярна маса тригліцериду етанолу, жирної кислоти та гліцерину відповідно.

Необхідна кількість етилового спирту, кг [21]:

$$m_2 = \frac{m_1 \cdot 3 \cdot \mu_2}{\mu_1} = \frac{1000 \cdot 3 \cdot 46,06}{895,5} = 154,3$$

Обчислимо теоретичний вихід етилового ефіру з ріпакової олії, кг:

$$m_3 = \frac{m_2 \cdot 3 \cdot \mu_3}{3 \cdot \mu_2} = \frac{154,3 \cdot 3 \cdot 313,86}{3 \cdot 46,06} = 1051,4$$

Розрахуємо теоретичний вихід гліцерину, кг:

$$m_4 = \frac{m_3 \cdot \mu_4}{\mu_3} = \frac{1051,4 \cdot 92,09}{313,86} = 102,8$$

Обрахуємо необхідну кількість гідроксиду калію та кількості мила і води, що утворюються за реакцією :

Маса, кг	$m_{11}$	$m_{12}=16,72$	$m_{13}$	$m_{14}$
$\text{RCOOH} + \text{KOH} \rightleftharpoons \text{RCOOK} + \text{H}_2\text{O}$				
Молекулярна маса,	$\mu_{11}$	$\mu_{12}$	$\mu_{13}$	$\mu_{14}$
кмоль	285,8	56,1	324	18

де  $m_{11}, m_{13}, m_{14}$  – маса жирної кислоти, мила та води відповідно;

$\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4$  – молекулярна маса жирної кислоти, KOH, мила та води відповідно.

Кількість жирних кислот, що зв'язуються з гідроксидом калію, кг:

$$m_{11} = \frac{\mu_{11} \cdot m_{12}}{\mu_{12}} = \frac{285,8 \cdot 16,72}{56,1} = 20,37$$

Кількість мила, що утворюється при омиленні жирних кислот, кг:

$$m_{13} = \frac{m_{12} \cdot \mu_{13}}{\mu_{12}} = \frac{324 \cdot 16,72}{56,1} = 23,1$$

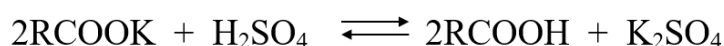
					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Піліпис	Лат		

Кількість води, що утворюється в результаті реакції, кг:

$$m_{14} = \frac{m_{13} \cdot \mu_{14}}{\mu_{13}} = \frac{23,1 \cdot 18}{324} = 1,28$$

Розрахунок кількості сірчаної кислоти, необхідної для нейтралізації солей калію вільних жирних кислот:

Маса, кг                       $m_{21}=23,1$                        $m_{22}$                        $m_{23}$                        $m_{24}$



Молекулярна маса,	$\mu_{21}$	$\mu_{22}$	$\mu_{23}$	$\mu_{24}$
кмоль	324	98,07	255,8	174,25

де  $m_{22}$ ,  $m_{23}$ ,  $m_{24}$  – маса сірчаної кислоти, жирних кислот та сульфоту калію відповідно;

$\mu_1$ ,  $\mu_2$ ,  $\mu_3$ ,  $\mu_4$  – молекулярна маса солей калію, сірчаної кислоти, жирних кислот та сульфату калію відповідно.

Кількість сірчаної кислоти, кг:

$$m_{22} = \frac{m_{21} \cdot \mu_{22}}{2 \cdot \mu_{21}} = \frac{23,1 \cdot 98,07}{2 \cdot 324} = 3,5$$

Кількість утворених вільних жирних кислот в результаті нейтралізації їх, солей калію сірчаною кислотою, кг:

$$m_{23} = \frac{m_{21} \cdot 2 \cdot \mu_{23}}{2 \cdot \mu_{21}} = \frac{23,1 \cdot 2 \cdot 285,8}{2 \cdot 324} = 20,3$$

Кількість утвореного осаду, кг:

$$m_{24} = \frac{m_{21} \cdot \mu_{24}}{2 \cdot \mu_{21}} = \frac{23,1 \cdot 174,25}{2 \cdot 324} = 6,21$$

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Лат		

Розрахуємо теоретичну кількість сірчаної кислоти, необхідну для нейтралізації залишку гідроксиду калію, що використовувався як каталізатор:

Маса, кг	$m_{31}=16,72$	$m_{32}$	$m_{33}$	$m_{34}$
	$2\text{KOH} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$			
Молекулярна маса,	$\mu_{31}$	$\mu_{32}$	$\mu_{33}$	$\mu_{34}$
кмоль	56,1	8	174,25	18

де  $m_{32}$ ,  $m_{33}$ ,  $m_{34}$  – маса сірчаної кислоти, сульфату калію та води відповідно, кг;

$\mu_{31}$ ,  $\mu_{32}$ ,  $\mu_{33}$ ,  $\mu_{34}$  – молекулярна маса гідроксиду калію, сірчаної кислоти, сульфату калію та води відповідно, кмоль.

Необхідна кількість сірчаної кислоти, кг:

$$m_{32} = \frac{m_{31} \cdot \mu_{32}}{2 \cdot \mu_{31}} = \frac{16,72 \cdot 98,07}{2 \cdot 56,1} = 14,61$$

Кількість сульфатної солі калію, що утворюється при нейтралізації гідроксиду калію сірчаною кислотою, кг:

$$m_{33} = \frac{m_{31} \cdot \mu_{33}}{2 \cdot \mu_{31}} = \frac{16,72 \cdot 174,25}{2 \cdot 56,1} = 25,97$$

Кількість води, що утворюється в процесі реакції нейтралізації, кг:

$$m_{34} = \frac{m_{31} \cdot \mu_{34}}{2 \cdot \mu_{31}} = \frac{16,72 \cdot 2 \cdot 18}{2 \cdot 56,1} = 5,36$$

Результати теоретичного розрахунку матеріального балансу процесу переестерифікації ріпакової олії

Таблиця 4.1

Вхідні речовини, %				Вихідні речовини, %			
Олія	Спирт	Каталізатор KOH	Кислота	Ефір	Гліцерин	Вода	Сіль
84,1	2,9	1,6	1,4	86,8	10,5	0,5	2,2

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Лат		

#### 4.1.2 Параметричний розрахунок реактора

Метою розрахунку є вибір робочого об'єму, визначення геометричних розмірів апарату.

Вихідні дані:

продуктивність $G$ , т/рік	113000;
час роботи ферментера $\tau$ , год	0,78;
коефіцієнт завантаження ферментера $\varphi$	0,7;
кількість робочих днів за рік $z$ , днів	330;
вихід біодизеля $b$ , доля	0,86;
номінальний об'єм ферментерам $V_n$ , м <sup>3</sup>	20;

склад вихідного розчину:

ріпакова олія $c_o$ , %	84,1;
етиловий спирт $c_c$ , %	12,9;
кислота сірчана $c_k$ , %	1,4;
луг КОН $c_l$ , %	1,6;

густини складових при температурі 60<sup>0</sup>С [21]:

ріпакової олії $\rho_o$ , кг/м <sup>3</sup>	916;
етилового спирту $\rho_c$ , кг/м <sup>3</sup>	820,5;
кислоти сірчаної $\rho_k$ , кг/м <sup>3</sup>	1793;
лугу КОН $\rho_l$ , кг/м <sup>3</sup>	1504;
температура у реакторі, К	338.

Обчислимо сумарну густину:

$$\rho_{\kappa.p} = \sum_{i=1}^n x_i \cdot \rho_i,$$

де  $x_i$  - масова частка складової частини.

$$\rho_{\text{сум}} = 0,841 \cdot 916 + 0,129 \cdot 820,5 + 0,014 \cdot 1793 + 0,016 \cdot 1504 = 925 \text{ кг/м}^3$$

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

Знайдемо загальну в'язкість перемішуваної суміші. Для цього скористаємося наступною формулою:

$$\lg \mu_{\text{сум}} = M_1 \cdot \lg \mu_1 + M_2 \cdot \lg \mu_2 + M_3 \cdot \lg \mu_3 + M_4 \cdot \lg \mu_4,$$

де  $M_{1-5}$  - масова доля компонента в суміші;

$\mu_{1-5}$  - в'язкість компонента [1].

$\mu_1 = 0,97 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$  - в'язкість етилового спирту;

$\mu_2 = 23,4 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$  - в'язкість ріпакової олії;

$\mu_3 = 16 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$  - в'язкість луку КОН 50%;

$\mu_4 = 8,4 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$  - в'язкість кислоти сірчаної.

$$\begin{aligned} \lg \mu_{\text{сум}} &= 0,841 \cdot \lg 23,4 \cdot 10^{-3} + 0,129 \cdot \lg 0,97 \cdot 10^{-3} + 0,016 \cdot \lg 16 \cdot 10^{-3} + \\ &+ 0,014 \cdot \lg 8,4 \cdot 10^{-3} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}. \end{aligned}$$

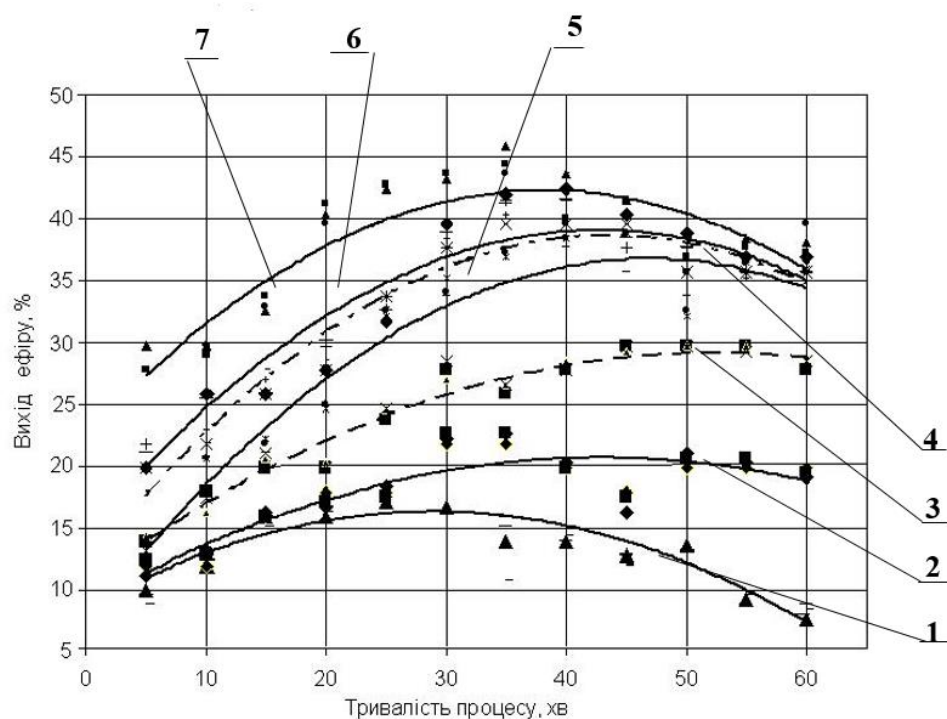
Реакція переестерифікації відбувається при додаванні спирту до олії (тригліцеридів) в присутності лужних каталізаторів, розчинених у спирті.

На рисунку 4.1 наведені результати експериментів [21] у вигляді кривих залежності утворення РЕЕ від тривалості тепломасообмінного процесу переестерифікації та температури в реакторі. Аналіз кривих (1-7) на ділянці часу від 5 хв до 35 хв показує, що в цьому інтервалі утворення ефіру йде найбільш ефективно і досягає максимуму при тривалості процесу 35 хв. Далі процес утворення РЕЕ сповільнюється. Такий характер кривих зберігається при температурах у реакторі від 30°C до 60°C. При підвищенні температури процесу переестерифікації від 30°C (крива 1) до 60°C (крива 7) вихід ефіру суттєво збільшується. З наведених даних видно, що найбільший вихід ефіру можна було одержати при температурі суміші 60°C та тривалості тепломасообмінного процесу 35 хв.

Результати експериментів [21] у вигляді кривих залежності утворення гліцерину (другого за кількістю продукту процесу переестерифікації) від тривалості тепломасообмінного процесу та температури в реакторі наведені на рисунку 4.2. Спостерігається, аналогічна з попереднім дослідом, залежність

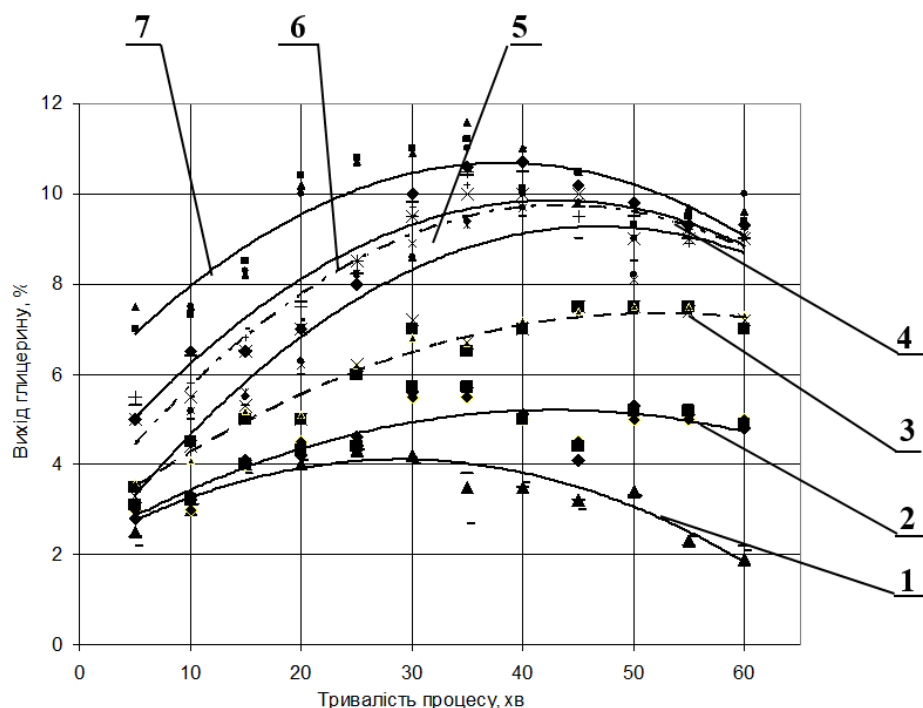
					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

виходу гліцерину від температури в реакторі. Аналіз кривих (1-7) на ділянці часу від 5 хв до 35 хв показує, що в цьому інтервалі утворення гліцерину найбільше і досягає максимуму при тривалості процесу 35 хв. Далі вихід гліцерину зменшується. Такий характер кривих зберігається при температурах у реакторі від 30°C до 60°C. При підвищенні температури процесу переестерифікації від 30°C (крива 1) до 60°C (крива 7) вихід гліцерину суттєво збільшується, отже процес переестерифікації проходить із максимальною ефективністю.



1 – 30°C; 2 – 35°C; 3 – 40°C; 4 – 45°C; 5 – 50°C; 6 – 55°C; 7 – 60°C

Рисунок 4.1 – Залежність утворення ріпаково-етилового ефіру від тривалості процесу переестерифікації та температури в реакторі [21]



1 – 30°C; 2 – 35°C; 3 – 40°C; 4 – 45°C; 5 – 50°C; 6 – 55°C; 7 – 60°C

Рисунок 4.2 – Залежність утворення гліцерину від тепломасообмінного процесу та температури в реакторі [21]

Наведені дані свідчать про те, що при переестерефікації з використанням лужного каталізатора гідроксиду калію (KOH) необхідно вести процес при температурах не вищих за 60°C.

Виходячи з наведених вище кінематичних кривих обираємо час процесу в реакторі  $\tau_p = 35$ хв.

Загальний час роботи реактора, враховуючи всі технологічні операції

$$\tau = 42 \text{хв}$$

Річна кількість продуктів, що переробляються, кг/рік:

$$V_{\text{річне}} = \frac{G \cdot 1000}{b} = \frac{113000 \cdot 1000}{0,86} = 131395349$$

Кількість продуктів, що переробляються за годину, м<sup>3</sup>/год:

$$V_{\text{годину}} = \frac{V_{\text{річне}}}{z \cdot 24 \cdot \rho} = \frac{131395349}{330 \cdot 24 \cdot 925} = 17,92$$

Продуктивність за одне завантаження, м<sup>3</sup>:

$$V_{\text{завант}} = V_{\text{годину}} \cdot \tau = 17,92 \cdot 0,78 = 14,04 \text{ м}^3$$

Робочий об'єм ферментера:

$$V_{\text{корисне}} = V_{\text{н}} \cdot \varphi = 20 \cdot 0,7 = 14 \text{ м}^3$$

Необхідна кількість ферментерів:

$$n = \frac{V_{\text{завант}}}{V_{\text{корисне}}} = \frac{14,04}{14} = 1,003 \text{ шт}$$

Отже приймаємо 1 ферментерів з корпусом за апарат з еліптичним відборттованим днищем номінальною ємністю 20 м<sup>3</sup>:

- внутрішній діаметр  $D = 2200$  мм;
- висота циліндричної частини  $L = 4535$  мм;
- загальна висота  $H = 5715$  мм;
- внутрішня площа поверхні  $F = 53,14$  м<sup>2</sup>.

Еліптичні днища для апарата такого діаметра мають такі показники [21]:

- внутрішній діаметр  $D_{\text{вн}} = 2200$  мм;
- висота еліптичної (опуклої) частини  $H_{\text{ел}} = 550$  мм;
- висота відборттовки  $h = 40$  мм;
- внутрішня поверхня  $F = 5,52$  м<sup>2</sup>;
- ємність днища  $V_{\text{дн}} = 1,5395$  м<sup>3</sup>;

Об'єм рідини в циліндричній частині  $V_{\text{рц}}$  у ферментері:

$$V_{\text{рц}} = V_{\text{р}} - V_{\text{дн}} = 14 - 1,5395 = 12,4605 \text{ м}^3;$$

Тоді висота рідини у циліндричній частині ферментера буде визначатись за наступною формулою:

$$H_{\text{ц}} = \frac{V_{\text{рц}}}{\pi \cdot R_{\text{вн}}^2} = \frac{12,4605}{3,14 \cdot 1,1^2} = 3,279 \text{ м}$$

Загальна висота рідини у ферментері:

$$H_{\text{р}} = H_{\text{ц}} + h + H_{\text{ел}} = 3,279 + 0,04 + 0,55 = 3,869 \text{ м}$$

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		



Висновок: Виходячи з заданої потужності виробництва обрано 1 реактор номінальним об'ємом 20 м<sup>3</sup>. Вибрані корпуси за ГОСТ 9931-85. Визначена висота рідини у ферментері.

#### 4.1.3 Тепловий розрахунок реактора

Метою теплового розрахунку апарата є визначення поверхні теплообміну.

Вихідні дані:

Густини складових при температурі 60<sup>0</sup>С [21]:

ріпакової олії $\rho_o$ , кг/м <sup>3</sup>	916;
етилового спирту $\rho_c$ , кг/м <sup>3</sup>	820,5;
кислоти сірчаної $\rho_k$ , кг/м <sup>3</sup>	1793;
лугу КОН $\rho_l$ , кг/м <sup>3</sup>	1504;

Температура продукту початкова  $T_{1n}$ , К

313;

Температура продукту кінцева  $T_{1k}$ , К

338;

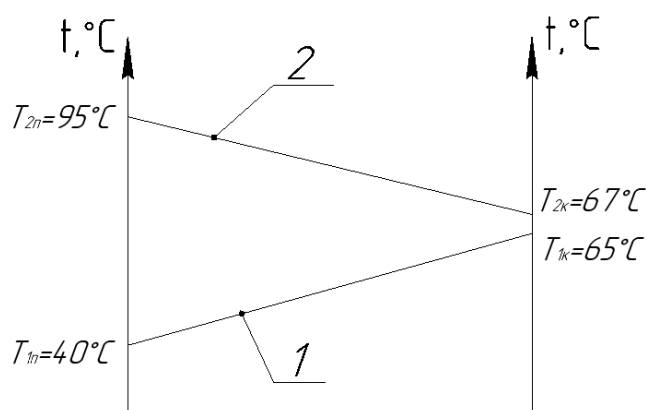
Температура води початкова  $T_{2n}$ , К

368;

Температура води початкова  $T_{2k}$ , К

340;

Схема температурних потоків зображена на рисунку 4.3:



1 – температура перебігу реакції; 2 – температура гріючої води

Рисунок 4.3 – Схема температурних потоків

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Піппис	Лат		

Більша різниця температур:

$$t_6 = T_{2п} - T_{1п} = 368 - 313 = 55^{\circ}\text{C}$$

Менша різниця температур:

$$t_m = T_{2k} - T_{1k} = 340 - 338 = 2^{\circ}\text{C}$$

Середній температурний напір:

$$\Delta t_{cp} = \frac{t_6 - t_m}{2,3 \cdot \lg \frac{t_6}{t_m}} = \frac{55 - 2}{2,3 \cdot \lg \frac{55}{2}} = 15,99^{\circ}\text{C}$$

Для теплового розрахунку апарата знайдемо складові рівняння теплового балансу:

$$Q_o + Q_c + Q_l + Q_k = Q_F$$

Розрахуємо витрату продуктів на вході в реактор:

Витрата олії, кг:

$$G_o = \rho_o \cdot c_o \cdot V_p = 916 \cdot 0,814 \cdot 14 = 10784$$

Витрата спирту, кг:

$$G_c = \rho_c \cdot c_c \cdot V_p = 820 \cdot 0,129 \cdot 14 = 1480$$

Витрата лугу, кг:

$$G_l = \rho_l \cdot c_l \cdot V_p = 1504 \cdot 0,016 \cdot 14 = 336$$

Витрата кислоти, кг:

$$G_k = \rho_k \cdot c_k \cdot V_p = 1793 \cdot 0,014 \cdot 14 = 351$$

Розраховуємо витрату тепла на нагрів реагентів:

Тепло для нагріву олії, Дж:

$$Q_o = 1,05 \cdot G_o \cdot Cp_o \cdot (T_{1k} - T_{1п}) = 1,05 \cdot 10784 \cdot 1975 \cdot (338 - 313) = 559134014$$

Тепло для нагріву спирту, Дж:

$$Q_c = 1,05 \cdot G_c \cdot Cp_c \cdot (T_{1k} - T_{1п}) = 1,05 \cdot 1480 \cdot 3122 \cdot (338 - 313) = 121365096$$

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

Тепло для нагріву луку КОН, Дж:

$$Q_{\text{л}} = 1,05 \cdot G_{\text{л}} \cdot C p_{\text{л}} \cdot (T_{1\text{k}} - T_{1\text{п}}) = 1,05 \cdot 336 \cdot 3218 \cdot (338 - 313) = 15248900$$

Тепло для нагріву сірчаної кислоти, Дж:

$$Q_{\text{k}} = 1,05 \cdot G_{\text{k}} \cdot C p_{\text{k}} \cdot (T_{1\text{k}} - T_{1\text{п}}) = 1,05 \cdot 351 \cdot 1653 \cdot (338 - 313) = 28458447$$

Тоді тепло, яке треба підвести в оболонку апарата:

$$Q_F = 559134014 + 121365096 + 15248900 + 28458447 = 724206458 \text{ Дж}$$

$$Q = \frac{Q_F}{\tau_{\text{н}}} = \frac{724206458}{2300} = 314872 \text{ Вт}$$

де  $\tau_{\text{н}} = 2300 \text{ с}$  – час нагріву

Витрати гріваючого агенту при цьому становитимуть, кг/с:

$$G_{\text{в}} = \frac{Q}{C p_{\text{в}} \cdot (T_{2\text{п}} - T_{2\text{k}})} = \frac{314872}{4190 \cdot (368 - 340)} = 2,68$$

де  $T_{\text{п}} = 368 \text{ К}$  – температура теплоносія на вході,

$T_{\text{k}} = 338 \text{ К}$  – температура теплоносія на виході

Визначення коефіцієнтів тепловіддачі.

Розрахуємо тепловий потік, який можна підвести через стінки апарата, заключені у оболоні [21].

Коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_1$  від рідинної суміші до стінки апарата можемо знайти з рівняння:

$$Nu = 0,36 \cdot Re^{0,67} \cdot Pr_p^{0,33} \cdot (\mu/\mu_{\text{ст}})^{0,14} \cdot \Gamma^{-1}$$

де  $\mu_{\text{ст}} = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$  - кінематична в'язкість при температурі стінки  $20^\circ\text{C}$

$$\Gamma = \frac{D}{d_{\text{м}}} = \frac{2200}{700} = 3,14$$

де  $d_{\text{м}}$  – діаметр лопатевої мішалки.

Теплофізичні властивості рідини в апараті за температури  $65^\circ\text{C}$ :

в'язкість  $\mu = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ ;

питома теплоємність  $c = 2,14 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$ ;

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Лат		

теплопровідність  $\lambda = 0,242 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ .

Знаходимо значення Прандтля за формулою

$$Pr_p = \frac{c \cdot \mu}{\lambda} = \frac{2140 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3}}{0,242} = 10,61$$

Знаходимо значення Рейнольдса за формулою:

$$Re = \frac{n \cdot d_m^2 \cdot \rho}{\mu} = \frac{5 \cdot 0,7^2 \cdot 925}{0,0012} = 1888541$$

тоді значення Нусельда за формулою:

$$Nu = 0,36 \cdot 1888541^{0,67} \cdot 10,61^{0,33} \cdot 3,66^{-1} = 4003$$

Звідки знаходимо коефіцієнт тепловіддачі,  $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ :

$$a_1 = Nu \cdot \frac{\lambda}{d_m} = 4003 \cdot \frac{0,242}{0,7} = 1384$$

Розрахуємо тепловіддачу до води, що подається у оболонку рідини по каналах.

Тоді швидкість потоку води,  $\text{м/с}$ :

$$W = \frac{G_B}{\rho_B \cdot f} = \frac{2,68}{987,5 \cdot 0,12} = 0,18,$$

де  $f = 0,15 \cdot 0,1 = 0,15 \text{ м}^2$  – площа поверхні каналу

Знаходимо значення Рейнольдса потоку води в оболонці:

$$Re = \frac{W \cdot d_{\text{екв}} \cdot \rho_B}{\mu} = \frac{0,18 \cdot 0,12 \cdot 972}{0,355 \cdot 10^{-3}} = 59532$$

де  $d_{\text{екв}}$  – еквівалентний діаметр,  $\text{м}$ :

$$d_{\text{екв}} = \frac{4 \cdot f}{\Pi} = \frac{4 \cdot 0,15}{(0,15 + 0,1) \cdot 2} = 0,12$$

Визначаємо критерій Нусельта за формулою:

$$Nu_2 = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr_p^{0,43} \cdot \varepsilon = 0,021 \cdot 59532^{0,8} \cdot 2,21^{0,43} \cdot 0,98 = 234$$

Коефіцієнт тепловіддачі,  $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ :

$$a_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda}{d_{\text{екв}}} = \frac{234 \cdot 0,675}{0,12} = 1319$$

Теплопровідність стінки із нержавіючої сталі  $\lambda_{\text{ст}} = 17,5 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$  [21].

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

де  $\delta = 10$  мм - товщина стінки апарата.

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі Вт/м<sup>2</sup>·К:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{a_2}} = \frac{1}{\frac{1}{1384} + \frac{0,01}{17,5} + \frac{1}{1319}} = 487$$

Розрахуємо поверхню теплообміну, м<sup>2</sup>:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{314872}{487 \cdot 15,99} = 40,39$$

Висновок: за результатами теплового розрахунку приймаємо приварну оболонь, що забезпечує площу поверхні теплообміну 40,39 м<sup>2</sup>.

#### 4.1.4 Розрахунок потужності приводу при перемішуванні

Метою розрахунку є знаходження потужності, що витрачається на перемішування в реакторі.

Вихідні дані:

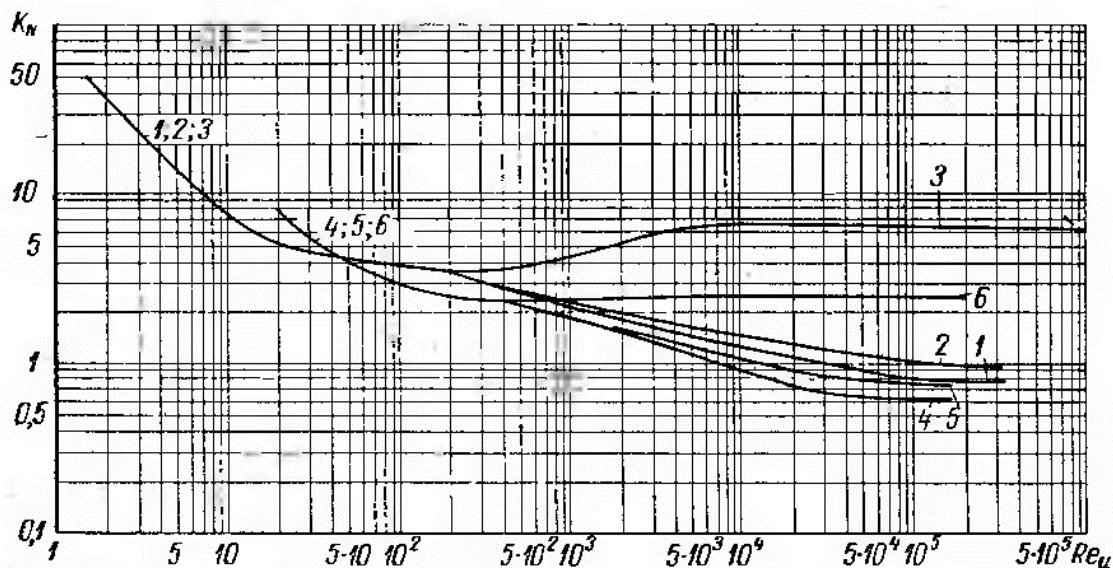
робочий об'єм реактора $V_p$ , м <sup>3</sup>	14;
діаметр закритої турбінної мішалки $d_m$ , м	0,7;
внутрішній діаметр апарата $D$ , м	2,2;
висота рідини в реакторі $H_p$ , м	3,869;
частота обертання вала мішалки $n$ , с <sup>-1</sup>	5;
густина середовища $\rho_p$ , кг/м <sup>3</sup>	925;
динамічна в'язкість рідини $\mu_p$ , Па·с	1,2 · 10 <sup>-3</sup> ;
температура середовища в апараті $t$ , К	338;

Розрахунок ведемо по методиці, приведений в [23].

Відцентровий критерій Рейнольдса при перемішуванні:

$$Re_{цб} = \frac{n \cdot d_m^2 \cdot \rho_p}{\mu_p} = \frac{5 \cdot 0,7^2 \cdot 925}{1,2 \cdot 10^{-3}} = 1,88 \cdot 10^6$$

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		



5 – для турбінних мішалок закритого типу

Рисунок 4.4 – Графіки для визначення критерія потужності  $k_n$  для турбінних перемішуючих пристроїв

Для апарату з закритою турбінною мішалкою  $k_n = 0,9$  з рисунку 4.8.

Витрати енергії на перемішування турбінною мішалкою, Вт:

$$N_m = k_n \cdot \rho_p \cdot n^3 \cdot d_m^5 = 0,9 \cdot 925 \cdot 5^3 \cdot 0,7^5 = 17489$$

Оскільки  $H_p > D$ , то необхідно врахувати коефіцієнт  $K_H$ .

$$K_H = \left(\frac{H_p}{D}\right)^{0,5} = \left(\frac{3,869}{2,2}\right)^{0,5} = 1,326$$

Звідси витрати енергії на перемішування турбінною мішалкою, Вт:

$$N'_m = K_H \cdot N_m = 1,326 \cdot 17489 = 23193$$

Мінімальна потужність електродвигуна приводу, Вт:

$$N_{min} = \frac{N}{\eta} = \frac{23193}{0,95} = 24414$$

де  $\eta$  – ККД приводу мішалки  $\eta = 0,95$

Висновок: було виконано розрахунок потужності, що витрачається на перемішування в реакторі та визначено, що потужність електродвигуна повинна бути більша ніж  $N_{min} = 24414$ Вт.

### 4.3.3 Розрахунок апарата на міцність і стійкість під зовнішнім тиском

Метою розрахунку – є визначення товщини циліндричної обичайки.

Вихідні дані:

Внутрішній діаметр $D$ , мм	2200;
Висота циліндричної частини $H$ , мм	4535;
Матеріал стінки	сталь 03X18H11;
Швидкість корозії сталі у середовищі $P$ , мм/рік	0,05;
Тиск у апараті $P$ , МПа	0,101;
Температура у апараті $t$ , °C	65.

Знаходимо значення допустимого напруження для сталі 03X18H11 при 20° та 100°, інтерполюючи маємо для 65°  $[\sigma] = 144,8$  МПа.

Коефіцієнт міцності зварного поздовжнього шва  $\varphi = 1$ .

Прибавки до розрахункової товщини. Прибавка на компенсацію корозії

$$c_1 = P \cdot t = 0,05 \cdot 10 = 0,5 \text{ мм.}$$

Прибавка на компенсацію мінусового відхилення по товщині листа  $c_2$  може бути оцінена після розрахунку  $S_R + c_1$ .

Технологічну прибавку приймемо  $c_3=0$ .

за розрахункові параметри беремо тиск у рубашці  $P=0,101$  МПа і температуру  $t=95^\circ\text{C}$ .

При роботі циліндричної обичайки під зовнішнім тиском є небезпека втрати стійкості циліндричної форми, тому окрім розрахунку на міцність виконується ще розрахунок на стійкість.

Знаходимо значення допустимого напруження для сталі 03X18H11 при 20° та 100°, інтерполюючи маємо для 95°

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

$$[\sigma] = 134,7 \text{ МПа.}$$

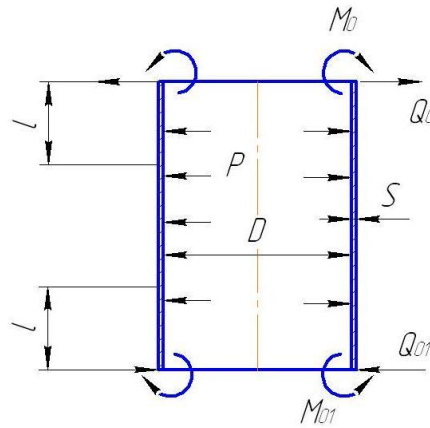


Рисунок 4.5 – Розрахункова схема циліндричної обичайки , навантаженої внутрішнім та зовнішнім тиском

Розрахункова товщина стінки [15]:

$$S_R = \max \left\{ k_2 \cdot D \cdot 10^{-2}; \frac{1,1PD}{2[\sigma]} \right\}.$$

Коефіцієнт  $k_2 = f(k_1; k_3)$ , визначається з номограми [12]:

$$k_3 = \frac{L}{D} = \frac{6,046}{2,2} = 2,74$$

де

$$L = H + l_1 = 4535 + 1511 = 6,046 \text{ м,}$$

$$l_1 = \frac{H}{3} = \frac{4535}{3} = 1511 \text{ м,}$$

$$k_1 = \frac{n_y P}{2,4 \cdot 10^{-6} E} = \frac{2,4 \cdot 0,101 \cdot 10^6}{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot 1,96 \cdot 10^5 \cdot 10^6} = 1,$$

де модуль пружності при розрахунковій температурі  $E = 1,96 \cdot 10^5 \text{ МПа,}$

$n_y=2,4$  – коефіцієнт запасу міцності для робочих умов.

Тоді знаходимо  $k_2 = 0,29$ .

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		



$$S_{R1} = k_2 \cdot D \cdot 10^{-2} = 0,29 \cdot 2,2 \cdot 10^{-2} = 6,3 \text{ мм};$$

$$S_{R2} = \frac{1,1PD}{2[\sigma]} = \frac{1,1 \cdot 0,101 \cdot 10^6 \cdot 2,2}{2 \cdot 144,8 \cdot 10^6} = 8,4 \text{ мм}$$

Вибираємо більше значення:  $S_{R2} = 8,4 \text{ мм}$ .

Виконавча товщина стінки

$$S = S_{R1} + c_1 + c_2 + c_3 = 8,4 + 0,5 + c_2 = 8,9 + c_2, \text{ мм.}$$

Найближча товщина листової сталі 10мм, для якої  $c_2=0,6 \text{ мм}$ .

Приймаємо товщину стінки  $S=10 \text{ мм}$ .

Тоді

$$c = c_1 + c_2 + c_3 = 0,5 + 0,6 = 1,1 \text{ мм.}$$

Допустимий тиск з умови міцності:

$$[P]_M = \frac{2[\sigma](S - c)}{D + (S - c)} = \frac{2 \cdot 134,7 \cdot 1 \cdot (0,01 - 0,0011)}{2,2 + (0,01 - 0,0011)} = 1,09 \text{ МПа.}$$

Допустимий тиск з умови стійкості:

$$[P]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} E}{n_Y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{L} \cdot \left( \frac{100(S - c)}{D} \right)^{2,5} =$$

$$= \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 10^6}{2,4 \cdot 1} \cdot \frac{2,2}{6,046} \cdot \left( \frac{100(0,01 - 0,0011)}{2,2} \right)^{2,5} = 0,8 \text{ МПа,}$$

де

$$B_1 = \min \left\{ 1; 9,45 \frac{D}{L} \sqrt{\frac{D}{100(S - c)}} \right\}$$

$$9,45 \frac{D}{L} \sqrt{\frac{D}{100(S - c)}} = 9,45 \frac{2,2}{6,046} \sqrt{\frac{2,2}{100(0,010 - 0,0011)}} = 8,2$$

вибираємо менше, тож  $B_1 = 1$ .

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Піліпис	Лат		

Тоді допустимий зовнішній тиск:

$$[P] = \frac{[P]_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_M}{[P]_E}\right)^2}} = \frac{1,09 \cdot 10^6}{\sqrt{1 + \left(\frac{1,09 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 10^6}\right)^2}} = 0,7 \text{ МПа}.$$

Очевидно, що  $P < [P]$ ,  $0,101 \text{ МПа} < 0,7 \text{ МПа}$ , отже умова міцності виконується.

Маса циліндричної обичайки:

$$m_{\text{ц}} = \rho V = \rho \pi D S H = 7850 \cdot 3,14 \cdot 2,2 \cdot 0,006 \cdot 4,535 = 1475 \text{ кг}.$$

Висновок: приймаємо товщину стінки  $S=0,010 \text{ м}$ , діаметр циліндричної частини  $2,2 \text{ м}$  та висота  $4535 \text{ м}$ .

#### 4.1.5 Перевірка на міцність циліндричної обичайки

Мета – перевіряємо на міцність циліндричну обичайку, навантажену осьовою розтягуючою силою.

Вихідні дані дивитись у пункті 4.3.3.

Сила, що діє на циліндричну обичайку:  $F = \sum F_i = \sum m_i g$ ,

розрахункова:  $F_p = \eta \sum F_i = \eta \sum m_i g$ ,

де  $\eta = 1,5$ -коефіцієнт, що враховує невраховані елементи,

$$F_p = \eta \sum m_i g = \eta g (m_{\text{дн}} + m_{\text{е}}) = 1,5 \cdot 9,81 (149,8 + 591,6) = 10910 \text{ Н} = 0,0109 \text{ МН}.$$

Допустима сила з умови стійкості:

$$[F]_E = \min\{[F]_{E1}; [F]_{E2}\};$$

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

$$[F]_{E1} = \frac{310 \cdot 10^6 \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \left( \frac{100(S - c)}{D} \right)^{2,5} =$$

$$= \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 10^6}{2,4} \cdot 2,2^2 \left( \frac{100(0,01 - 0,0011)}{2,2} \right)^{2,5} = 13,6 \text{ МН};$$

$$[F]_{E2} = \frac{\pi(D + S - c)(S - c)}{n_y} E \left( \frac{\pi}{\lambda} \right)^2.$$

Де гнучкість

$$\lambda = \frac{l_{\text{пр}}}{i} = \frac{9,07}{0,25} = 36,28$$

приведена довжина

$$l_{\text{пр}} = 2H = 2 \cdot 4535 = 9,07 \text{ м}$$

радіус інерції

$$i = \sqrt{\frac{I}{f}} = \sqrt{\frac{0,004}{0,06}} = 0,25 \text{ м}$$

де момент інерції

$$I = \frac{\pi D^4}{64} - \frac{\pi(D - 2S)^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 2,2^4}{64} - \frac{3,14(2,2 - 2 \cdot 0,01)^4}{64} = 0,004 \text{ м}^4,$$

площа поперечного перерізу

$$f = \frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi(D - 2S)^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 2,2^2}{4} - \frac{3,14(2,2 - 2 \cdot 0,01)^2}{4} = 0,06 \text{ м}^2$$

Отже

$$[F]_{E2} = \frac{\pi(D + S - c)(S - c)}{n_y} E \left( \frac{\pi}{\lambda} \right)^2 =$$

$$= \frac{3,14(2,2 + 0,01 - 0,0011)(0,01 - 0,0011)}{2,4} 2 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \left( \frac{3,14}{36,28} \right)^2 = 38 \text{ МН};$$

$$[F]_E = \min\{[F]_{E1}; [F]_{E2}\}.$$

Вибираємо менше, тож  $[F]_E = 13,6 \text{ МН}$ .

					ЛН71МП. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Піліпис	Лат		

Допустима сила з умови міцності:

$$[F]_M = [\sigma]\pi(D + S - c)(S - c) = \\ = 149,9 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot (2,2 + 0,01 - 0,0011)(0,01 - 0,0011) = 9,2 \text{ МН.}$$

Допустима величина осьової стискаючої сили:

$$[F] = \frac{[F]_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_M}{[F]_E}\right)^2}} = \frac{9,2 \cdot 10^6}{\sqrt{1 + \left(\frac{9,2 \cdot 10^6}{13,6 \cdot 10^6}\right)^2}} = 7,6 \text{ МН}$$

Перевіряємо чи виконується умова міцності та стійкості:

$$\frac{P}{[P]} + \frac{F}{[F]} \leq 1 \\ \frac{0,101}{0,7} + \frac{0,0109}{7,6} = 0,14 < 1$$

Висновок: як видно з нерівності умова міцності та стійкості виконується, отже товщина стінки апарата вибрана вірно  $S=0,01$  м.

#### 4.1.6 Розрахунок товщини еліптичного днища

Мета розрахунку – перевірка вибраного по умовному тиску і внутрішньому діаметру еліптичного днища, в робочих умовах на міцність.

Схема до розрахунку товщини стінки стандартного еліптичного днища зображена на рисунку 4.6, розрахунок ведеться у безмоментній зоні.

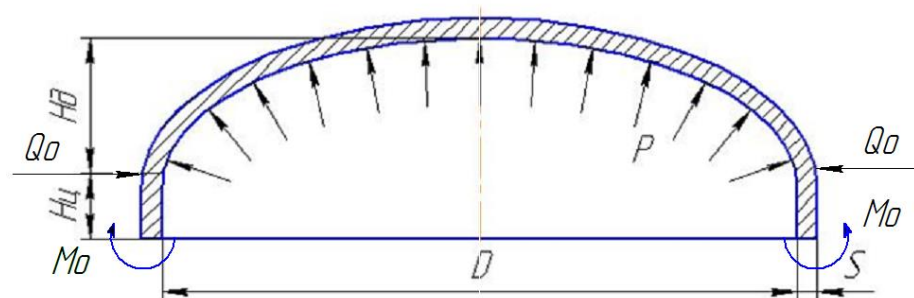


Рисунок 4.6 – Схема до розрахунку товщини стінки еліптичного днища

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Пілпис	Лат		

Вихідні дані до розрахунку:

зовнішній тиск в еліптичному днищі  $P_R$ , МПа 0,101;

зовнішній діаметр апарата  $D$ , м 2,2.

Фізико механічні властивості знаходимо для розрахункової температури, що приймаємо виходячи із температури середовища в апараті (беремо максимальне значення)  $T_p = 353 \text{ K}$ .

Фізико механічні властивості матеріалу еліптичного днища:

модуль пружності  $E$ , МПа  $1,96 \cdot 10^5$ ;

допустиме напруження  $[\sigma]_{tR}$ , МПа 135,9.

Попередньо приймаємо стандартне еліптичне днище (з відборткою) з такими геометричними розмірами:

внутрішній діаметр днища  $D$ , м 2,2;

висота еліптичної частини днища  $H_d$ , м 0,6;

висота циліндричної частини днища  $h_{ц}$ , м 0,06;

площа поверхні еліптичного днища,  $F$ , м<sup>2</sup>. 4,18.

Порядок розрахунку еліптичного днища:

Розрахуємо еліптичне днище апарата під зовнішнім тиском.

Розрахункова товщина стінки:

$$S_R = \max \left\{ \frac{k_e R}{510} \sqrt{\frac{n_Y P}{10^{-6} E}}; \frac{PR}{2[\sigma]} \right\},$$

де для стандартних еліптичних днищ  $R=D$ , у першому наближенні  $k_e=0,9$ .

$$S_{R1} = \frac{PR}{2[\sigma]} = \frac{0,101 \cdot 10^6 \cdot 2,2}{2 \cdot 149,9 \cdot 10^6} = 1,5 \text{ мм}$$

$$S_{R2} = \frac{k_e R}{510} \sqrt{\frac{n_Y P}{10^{-6} E}} = \frac{0,9 \cdot 2,2}{510} \sqrt{\frac{2,4 \cdot 0,101 \cdot 10^6}{10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 10^6}} = 6,3 \text{ мм}$$

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Лат		

Вибираємо більше значення:  $S_R = 6.3$  мм.

Виконавча товщина стінки  $S = S_R + c_1 + c_2 + c_3 = 6.3 + 0.5 + 0.6 = 7.4$ , мм.

Найближча товщина листової сталі 10мм, для якої  $c_2=0.6$ мм.

Прийmemo товщину стінки  $S=10$  мм.

Тоді  $c = c_1 + c_2 + c_3 = 0.5 + 0.6 = 1.1$  мм.

Допустимий тиск з умови міцності:

$$[P]_M = \frac{2[\sigma](S - c)}{D + 0.5(S - c)} = \frac{2 \cdot 149.9 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot (0.01 - 0.0011)}{2.2 + 0.5(0.01 - 0.0011)} = 1.2 \text{ МПа}$$

Допустимий тиск з умови стійкості:

$$[P]_E = \frac{20.8 \cdot 10^{-6} E}{n_Y} \left( \frac{100(S - c)}{k_e \cdot D} \right)^2 =$$
$$= \frac{20.8 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 10^6}{2.4} \cdot \left( \frac{100(0.01 - 0.0011)}{0.97 \cdot 2.2} \right)^2 = 0.3 \text{ МПа.}$$

Тоді допустимий зовнішній тиск:

$$[P] = \frac{[P]_M}{\sqrt{1 + \left( \frac{[P]_M}{[P]_E} \right)^2}} = \frac{1.2 \cdot 10^6}{\sqrt{1 + \left( \frac{1.2 \cdot 10^6}{0.3 \cdot 10^6} \right)^2}} = 0.53 \text{ МПа.}$$

Очевидно, що  $P < [P]$ ,  $0.101 \text{ МПа} < 0.53 \text{ МПа}$ , отже умова міцності виконується.

Маса еліптичного днища:

$$m_{\text{дн}} = \rho V = \rho S F = 7850 \cdot 0.006 \cdot 4.18 = 196 \text{ кг/}$$

Висновок : умова міцності еліптичного днища з вибраною товщиною стінки виконується. Отже вибрана товщина стінки еліптичного днища 0,01м забезпечує його несучу спроможність за даних умов.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

#### 4.1.7 Розрахунок оболонки апарата на міцність

Мета розрахунку: визначення мінімальної товщини стінки циліндричної та еліптичної частини рубашки, при яких виконується умова міцності.

Стінки знаходяться під дією внутрішнього тиску.

Внутрішній діаметр  $D$ , мм 2200;

Матеріал стінки сталь 03X18H11;

Швидкість корозії сталі у середовищі  $П$ , мм/рік 0,05;

Тиск у апараті  $P$ , МПа 0,101;

Температура  $t$ , °C 95.

Розрахуємо циліндричну обичайку:

Знаходимо значення допустимого напруження для сталі 03X18H11 при 20° та 100°, інтерполюючи маємо для 95°  $[\sigma] = 134.7$  МПа.

Коефіцієнт міцності зварного поздовжнього шва  $\varphi = 1$ .

Прибавка на компенсацію мінусового відхилення по товщині листа  $c_2$  може бути оцінена після розрахунку  $S_R + c_1$ . Технологічну прибавку прийmemo  $c_3=0$ .

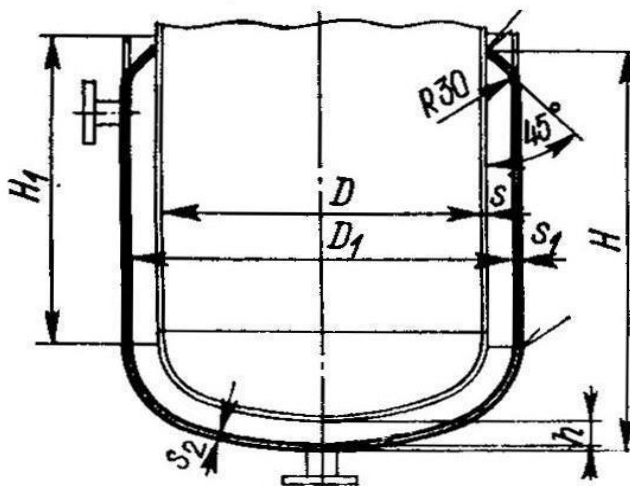


Рисунок 4.7 – Розрахункова схема оболонки

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Піліпис	Лат		

Розрахункова товщина стінки:

$$S_R = \frac{PD}{2[\sigma]\varphi - P} = \frac{0,101 \cdot 10^6 \cdot 2.2}{2 \cdot 134.7 \cdot 10^6 - 0,101 \cdot 10^6} = 0,0063 \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки  $S = S_R + c_1 + c_2 + c_3 = 6,3 + 0,5 + c_2 = 6,8 + c_2$  мм.

Згідно рекомендацій приймемо  $S=10$  мм, тоді  $c_2=0,6$  мм,  $c = c_1 + c_2 + c_3 = 0,5 + 0,6 = 1,1$  мм.

Допустимий тиск:

$$[P] = \frac{2[\sigma]\varphi(S - c)}{D + (S - c)} = \frac{2 \cdot 134.7 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot (0,01 - 0,0011)}{2.2 + (0,01 - 0,0011)} = 0,53 \text{ МПа.}$$

Очевидно, що  $P < [P]$ ,  $0,101 \text{ МПа} < 0,53 \text{ МПа}$ , отже умова міцності виконується.

Розрахуємо еліптичне днище під внутрішнім тиском.

Розрахункова товщина стінки:

$$S_R = \frac{PR}{2[\sigma]\varphi - 0,5P} = \frac{0.101 \cdot 10^6 \cdot 2.2}{2 \cdot 134.7 \cdot 10^6 - 0,5 \cdot 0.101 \cdot 10^6} = 0,0063 \text{ м}$$

де для стандартних еліптичних днищ  $R=D$ .

Виконавча товщина стінки  $S = S_R + c_1 + c_2 = 6,3 + 0,5 + c_2 = 6,8 + c_2$ , мм.

Згідно рекомендацій приймемо  $S=10$  мм,

тоді  $c_2=0,6$  мм,  $c = c_1 + c_2 + c_3 = 0,5 + 0,6 = 1,1$  мм.

Допустимий тиск:

$$[P] = \frac{2[\sigma]\varphi(S - c)}{R + 0,5(S - c)} = \frac{2 \cdot 134.7 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot (0,01 - 0,0011)}{2.2 + 0,5(0,01 - 0,0011)} = 0,53 \text{ МПа.}$$

Очевидно, що  $P < [P]$ ,  $0,101 \text{ МПа} < 0,53 \text{ МПа}$ , отже умова міцності виконується.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		



Висновок:

Приймаємо стандартну рубашку з наступними розмірами:

Діаметр апарата  $D = 2200$  мм

Товщина стінки циліндричної обичайки та днища рубашки  $S_1 = S_2 = 10$  мм

Висота рубашки  $H = 4300$  мм

Діаметр рубашки  $D_1 = 2400$  мм

#### 4.1.8 Розрахунок вала механічного перемішуючого пристрою на вібростійкість

Мета: визначити діаметру вала, який задовольняє умовам вібростійкості.

Розрахункова схема до визначення діаметра вала, що відповідає умові вібростійкості подана на рисунку 4.8.

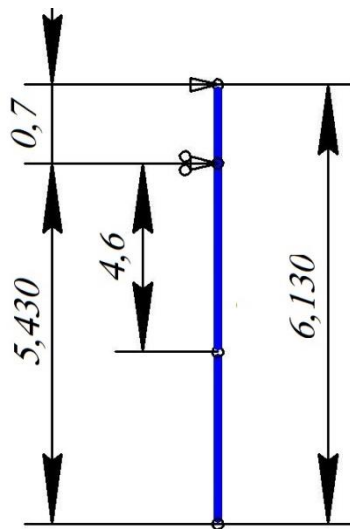


Рисунок 4.8 – Схема до розрахунку вала перемішуючого пристрою на вібростійкість

Вихідні дані:

довжина прольоту $L$ , м	0,7;
довжина консолі $L_1$ , м	5,43;
довжина валу $L_2$ , м	6,13;
кількість деталей на валу, окрім мішалок $n_d$	0;

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Піліпис	Лат		

кількість мішалок $n_m$	1;
координати центрів мас мішалок:	
$l_1$ , м	4,6;
маси мішалок:	
$m_1$ , кг	22;
діаметр валу $d$ , м	0,08;
кутова швидкість $\omega$ , $\text{с}^{-1}$	34,56;
густина матеріалу валар $\rho$ , $\text{кг/м}^3$	7920;
частота обертання вала $n$ , $\text{с}^{-1}$	5,5;
коефіцієнт, що враховує умову вібростійкості $j$	0,7;
коефіцієнт приведення маси вала $q$	0,5;
модуль пружності матеріалу вала $E$ , МПа	$1,98 \cdot 10^5$ .

Розрахунок наведено в літературі [25, стр. 30].

Відносні координати довжин консолі та прольоту:

$$\bar{L}_1 = \frac{L_1}{L_2} = \frac{5,43}{6,13} = 0,88$$

$$\bar{L} = \frac{L}{L_1} = \frac{0,7}{5,43} = 0,128$$

Відносні координати центрів ваги мішалок в прольоті:

$$\bar{l}_{11} = \frac{l_1}{L_1} = \frac{4,6}{5,43} = 0,84$$

Безрозмірний прогин вала:

$$\bar{y}_{l_1} = f(\bar{l}_{11}, \bar{L}) = f(0,88; 0,128) = 0,7$$

Коефіцієнт, що враховує умову закріплення вала:

$$\eta = 3\bar{L}_1 = 3 \cdot 0,88 = 2,64$$

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Лат		

Безрозмірний коефіцієнт:

$$f = \frac{8 \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot L_1^2}{j^2 \cdot \eta \cdot E} = \frac{8 \cdot 7920 \cdot 34,56^2 \cdot 5,43^2}{0,7^2 \cdot 2,64 \cdot 1,98 \cdot 10^{11}} = 8,7 \cdot 10^{-3}$$

Приведена маса мішалок в консолі:

$$m_{1\text{пр}} = m_1 \cdot \bar{y}_{l_1}^2 = 22 \cdot 0,7^2 = 10,78 \text{ кг}$$

Сума приведених мас мішалок:

$$m_{\text{пр}} = \sum_1^2 m_{i\text{пр}} = m_{1\text{пр}} = 10,78 = 10,78 \text{ кг}$$

Маса 1 метра довжини вала:

$$m_L = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot \rho}{4} = \frac{\pi \cdot 0,08^2 \cdot 7920}{4} = 39 \text{ кг}$$

Відносна приведена маса деталей:

$$\bar{m}_{\text{пр}} = \frac{m_{\text{пр}}}{m_L \cdot L_1} = \frac{10,78}{39 \cdot 5,43} = 0,0509$$

Корінь частотного рівняння:

$$\alpha = f(\bar{m}_{\text{пр}}, \bar{L}) = f(0,0509; 0,128) = 1,8$$

Момент інерції перерізу вала:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 0,08^4}{64} = 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ м}^4$$

Перша критична кутова швидкість:

$$\omega_{\text{кр1}} = \left(\frac{\alpha}{L_1}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{m_L}} = \left(\frac{1,8}{5,43}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{1,98 \cdot 10^{11} \cdot 3,14 \cdot 10^{-4}}{39}} = 138,74 \text{ с}^{-1}$$

Умова вібростійкості:

$$\frac{\omega}{\omega_{\text{кр1}}} = \frac{34,56}{138,74} = 0,24 \leq 0,7$$

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Пілпис	Лат		

Отже умова вібростійкості для даного валу виконується і вал працює у до критичній зоні.

Висновок: В ході проведених розрахунків було визначено, що діаметр вала в опірному перерізі, задовольняє умовам вібростійкості.

#### 4.1.9 Розрахунок вала механічного перемішуючого пристрою на жорсткість

Мета: перевірка умови жорсткості вала механічного перемішуючого пристрою.

Розрахункова схема подана на рисунку 4.15.

Вихідні дані:

довжина прольоту $L$ , м	0,7;
довжина консолі $L_1$ , м	5,43;
довжина валу $L_2$ , м	6,13;
кількість деталей на валу, окрім мішалок $n_d$	0;
кількість мішалок $n_m$	1;
координати центрів мас мішалок:	
$l_1$ , м	4,6;
маси мішалок:	
$m_1$ , кг	22;
діаметр валу $d$ , м	0,08;
приведені маси мішалок:	
$m_{1пр}$ , кг	10,78;
сума приведених мас мішалок $m_{пр}$ , кг	10,78;
кутова швидкість $\omega$ , $c^{-1}$	34,56;
густина матеріалу валар , $кг/м^3$	7920;
частота обертання вала $n$ , $c^{-1}$	5,5;
модуль пружності матеріалу вала $E$ , МПа	$1,98 \cdot 10^5$ ;

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

початкова увігнутість вала в точці

приведення  $\epsilon_B$ , м

$0,6 \cdot 10^{-3}$ ;

допустиме зміщення вала:

$$[A_{l_i}] = 1 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

$$[A_{z_i}] = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Розрахунок наведено в літературі [14, стр 33].

Ексцентриситет маси деталі в прольоті та на консолі:

$$e_1 = e_{11} = e_{12} = \frac{10^{-3}}{\sqrt{\omega}} = \frac{10^{-3}}{\sqrt{34,56}} = 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Відносні координати небезпечного перерізу в прольоті та на консолі:

$$\bar{Z}_1 = \frac{z_{11}}{L} = \frac{0,30}{0,7} = 0,428$$

$$\bar{Z}_{11} = \frac{z_2}{L_1} = \frac{4,6}{5,43} = 0,847$$

Безрозмірний динамічний прогин валу в небезпечному перерізі в прольоті та на консолі:

$$\bar{y}_{z_1} = f(\bar{Z}_1, \bar{L}) \cdot \bar{L} = f(0,015; 0,128) \cdot 0,128 = 0,00207$$

$$\bar{y}_{z_{11}} = f(\bar{Z}_{11}, \bar{L}) = f(0,847; 0,128) = 0,71$$

Відносні координати центрів ваги мішалок на консолі:

$$\bar{l}_{11} = \frac{l_{11}}{L_1} = \frac{4,6}{5,43} = 0,847$$

Безрозмірний динамічний прогин в центрі ваги мішалок:

$$\bar{y}_{l_{11}} = f(\bar{l}_{11}, \bar{L}) = f(0,847; 0,128) = 0,7$$

Приведений ексцентриситет деталі:

$$e_{11_{\text{пр}}} = \frac{e_{11}}{\bar{y}_{l_{11}}} = \frac{1,7 \cdot 10^{-3}}{0,7} = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Маса 1 метра довжини вала:

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Піліпис	Лат		

$$m_L = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot \rho}{4} = \frac{\pi \cdot 0,08^2 \cdot 7920}{4} = 39,7 \text{ кг}$$

Приведена маса вала:

$$m'_{\text{впр}} = 0,5 \cdot m_L \cdot L = 0,5 \cdot 39,7 \cdot 0,7 = 13,895 \text{ кг}$$

$$m''_{\text{впр}} = 0,5 \cdot m_L \cdot L_1 = 0,5 \cdot 39,7 \cdot 5,43 = 107,78 \text{ кг}$$

Зміщення перерізу вала в точці приведення  $B$ , пов'язано з зазорами в опорах:

$$\Delta_B = \frac{\Delta_a + \Delta_b}{2} = \frac{0,03 \cdot 10^{-3} + 0,37 \cdot 10^{-3}}{2} = 0,03535 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Приведений (до точки  $B$ ) ексцентриситет мас деталей посаджених в прольоті та на консолях:

$$e'_{\text{пр}} = \frac{\sum(m_{i\text{пр}} \cdot e_{i\text{пр}})}{m_{\text{пр}} \cdot m'_{\text{впр}}} + \Delta_B + \varepsilon_{\text{пр}} = \frac{0}{10,78 + 13,895} + 0,0335 \cdot 10^{-3} + 0,6 \cdot 10^{-3} = 6,335 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$e''_{\text{пр}} = \frac{\sum(m_{ij\text{пр}} \cdot e_{ij\text{пр}})}{m_{\text{пр}} \cdot m''_{\text{впр}}} + \Delta_{\text{пр}} + \varepsilon_{\text{пр}} = \frac{10,78 \cdot 2,436 \cdot 10^{-4} + 22 \cdot 4,061 \cdot 10^{-4}}{10,78 + 107,78} + 0,0335 \cdot 10^{-3} + 0,6 \cdot 10^{-3} = 6,666 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Сумарний приведений (до точки  $B$ ) ексцентриситет мас деталей посаджених в прольоті та на консолях:

$$e_{\text{пр}} = e'_{\text{пр}} + e''_{\text{пр}} + \Delta_B + \varepsilon_B = 6,335 \cdot 10^{-4} + 6,666 \cdot 10^{-4} + 0,0335 \cdot 10^{-3} + 1,5 \cdot 10^{-3} = 19,731 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Момент інерції перерізу вала:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 0,08^4}{64} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

Відносна приведена маса деталей:

$$\bar{m}_{\text{пр}} = \frac{m_{\text{пр}}}{(m_L \cdot L_1)} = \frac{10,78}{39,7 \cdot 5,43} = 0,05$$

Корінь частотного рівняння:

$$\alpha_1 = f(\bar{m}_{\text{пр}}, \bar{L}) = f(0,05; 0,128) = 1,9$$

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Лат		

Перша критична кутова швидкість:

$$\omega_{\text{кр1}} = \left( \frac{\alpha_1}{L_1} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{m_L}} =$$

$$= \left( \frac{1,9}{5,43} \right) \cdot \sqrt{\frac{1,98 \cdot 10^{11} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{39,7}} = 64,94$$

Динамічний прогин вала в точці приведення:

$$y_1 = \frac{e_{\text{пр}}}{\left( \frac{\omega_{\text{кр}}}{\omega} \right)^2 - 1} = \frac{19,731 \cdot 10^{-4}}{\left( \frac{34,94}{34,56} \right)^2 - 1} = 7,79 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Зміщення перерізу вала в точці кріплення мішалки, викликане зазорами в опорах на консолях:

$$\Delta_{l_{11}} = (\Delta_B + \Delta_A) \cdot (\bar{l}_{11} + L) - \Delta_A = (0,037 \cdot 10^{-3} + 0,03 \cdot 10^{-3}) \cdot$$

$$\cdot (0,826 + 0,7) - 0,03 \cdot 10^{-3} = 6,488 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

Зміщення небезпечного перерізу вала, викликане зазорами в опорах в прольоті та на консолях:

$$\Delta_{z_1} = (\Delta_B + \Delta_A) \cdot \bar{z}_1 - \Delta_A = (0,037 \cdot 10^{-3} - 0,03 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,416 -$$

$$- 0,03 \cdot 10^{-3} = -2,083 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$\Delta_{z_{11}} = (\Delta_B + \Delta_A) \cdot (\bar{z}_{11} + L) - \Delta_A = (0,037 \cdot 10^{-3} - 0,03 \cdot 10^{-3}) \cdot$$

$$\cdot (0,816 + 0,7) - -0,03 \cdot 10^{-3} = 6,488 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

Зміщення перерізу вала в точці кріплення мішалки, викликане початковою увігнутістю вала на консолях:

$$\varepsilon_{l_{11}} = \varepsilon_B \cdot \bar{y}_{l_{11}} = 0,6 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7 = 4,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Зміщення небезпечного за жорсткістю перерізу вала, викликане початковою увігнутістю в прольоті та на консолях:

$$\varepsilon_{z_1} = \varepsilon_B \cdot \bar{y}_{z_1} = 0,6 \cdot 10^{-3} \cdot 0,00207 = 0,0124 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$\varepsilon_{z_{11}} = \varepsilon_B \cdot \bar{y}_{z_{11}} = 0,6 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7 = 4,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Піліпис	Лат		

Сумарне динамічне зміщення в точці приведення:

$$A_B = y_B + \varepsilon_B + \Delta_B = 10,998 \cdot 10^{-4} + 0,6 \cdot 10^{-3} + 0,0335 \cdot 10^{-3} = 17,333 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Сумарне динамічне зміщення вала в центрі мас мішали на консолі:

$$\begin{aligned} A_{l_{11}} &= y_B \cdot \bar{y}_{l_{11}} + \varepsilon_{l_{11}} + \Delta_{l_{11}} + e_{11} = \\ &= 10,998 \cdot 10^{-4} \cdot 0,7 + 4,2 \cdot 10^{-4} + 6,488 \cdot 10^{-5} + 0,231 \cdot 10^{-3} = \\ &= 0,0018 \text{ м} \end{aligned}$$

Сумарне динамічне зміщення вала в небезпечному перерізі в прольоті та на консолі:

$$\begin{aligned} A_{z_1} &= y_B \cdot \bar{y}_{z_1} + \varepsilon_{z_1} + \Delta_{z_1} = \\ &= 10,998 \cdot 10^{-4} \cdot 0,00201 + 0,0124 \cdot 10^{-4} - 2,843 \cdot 10^{-5} = \\ &= 6,493 \cdot 10^{-4} \text{ м} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{z_{11}} &= y_B \cdot \bar{y}_{z_{11}} + \varepsilon_{z_{11}} + \Delta_{z_{11}} = \\ &= 10,998 \cdot 10^{-4} \cdot 0,7 + 4,2 \cdot 10^{-4} + 6,488 \cdot 10^{-5} = \\ &= 0,00107 \text{ м} \end{aligned}$$

Умови жорсткості, м:

$$\begin{aligned} A_{l_{11}} &\leq [A_{l_i}] \\ 0,0018 &\leq 1 \cdot 10^{-2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{z_1} &\leq [A_{z_i}] \\ 6,493 \cdot 10^{-4} &\leq 2,5 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{z_{11}} &\leq [A_{z_i}] \\ 0,00107 \cdot 10^{-3} &\leq 2,5 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

Отже умови жорсткості виконуються.

Висновок: В ході розрахунків визначено, що умови жорсткості даного валу виконується. Отже вал діаметром 80 мм забезпечує умову жорсткості.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		



#### 4.1.10 Розрахунок вала механічного перемішуючого пристрою на міцність

Мета: визначити найбільш небезпечний по міцності переріз вала, визначити еквівалентні напруження в небезпечних перерізах, розрахувати допустимі напруження з урахуванням дії знакозмінних напружень, часткових значень коефіцієнтів запасу міцності, коефіцієнтів концентрації напружень. Порівняти значення еквівалентних напружень в небезпечних перерізах з допустимими.

Розрахункова схема подана на рисунку 4.15.

Вихідні дані:

довжина прольоту $L$ , м	0,7;
довжина консолі $L_1$ , м	5,43;
довжина валу $L_2$ , м	6,13;
кількість деталей на валу, окрім мішалок $n_d$	0;
кількість мішалок $n_m$	1;
координати центрів мас мішалок:	
$l_1$ , м	5,43;
маси мішалок:	
$m_1$ , кг	22;
діаметр валу $d$ , м	0,08;
приведені маси мішалок:	
$m_{1пр}$ , кг	10,78;
сума приведених мас мішалок $m_{пр}$ , кг	10,78;
кутова швидкість $\omega$ , $c^{-1}$	34,56;
густина матеріалу валар , $кг/м^3$	7920;
частота обертання вала $n$ , $c^{-1}$	5,5;
модуль пружності матеріалу вала $E$ , МПа	$1,98 \cdot 10^5$ ;
потужність, що витрачається мішалками	

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Піппис	Лат		

на перемішування $N$ , Вт	23193;
межа витривалості матеріалу $\sigma_{-1}$ , МПа	279;
шпоночні канавки під ступицями мішалки виконані торцевими фрезами, тому $K_{\sigma zk}$	1,46;
мінімальний запас міцності $n_{min}$	1,5;
сумарне динамічне зміщення перерізу вала в точці приведення $A_{BQ}$ , м	$17,333 \cdot 10^{-4}$ ;
в центрі мас мішалок $A_{111}$ , м	0,0018;

Розрахунок наведено в літературі [26, стр 20].

Зосереджена сила, також і відцентрова, що діє на мішалку:

$$F_{11} = m_1 \cdot \omega^2 \cdot A_{l_{11}} = 22 \cdot 34,56^2 \cdot 0,0018 = 47,29 \text{ Н}$$

Приведена відцентрова сила вала:

$$\begin{aligned} F_{BQ} &= m_{B_{np}} \cdot \omega^2 \cdot A_{BQ} = \\ &= 107,78 \cdot 34,56^2 \cdot 17,333 \cdot 10^{-4} = 223,12 \text{ Н} \end{aligned}$$

Реакція опори А буде визначатись за наступною формулою:

$$\begin{aligned} R_A &= \frac{F_{11} \cdot l_{11} + F_{BQ} \cdot L_1}{L} = \\ &= \frac{47,29 \cdot 4,6 + 223,17 \cdot 5,43}{0,7} = 1429 \text{ Н} \end{aligned}$$

Реакція опори Б:

$$\begin{aligned} R_B &= \frac{F_{11} \cdot (L + l_{11}) + F_{BQ} \cdot (L + L_1)}{L} = \\ &= \frac{47,29 \cdot (0,7 + 4,6) + 223,12 \cdot (0,7 + 5,43)}{0,7} = \\ &= 2312 \text{ Н} \end{aligned}$$

Вигинаючий момент в небезпечних за міцністю перерізах прольоту:

$$M_{z_1} = R_A \cdot z_1 - (F_{11} \cdot (z_2 - l_{11})) =$$

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Піліпис	Лат		

$$= 1429 \cdot 5,43 - (47,29 \cdot (5,43 - 4,6)) =$$

$$= 7720 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Вигинаючий момент в небезпечних за міцністю перерізах консолі:

$$M_{z_2} = F_{BQ} \cdot (L_1 - z_{11}) + F_{11} \cdot (l_{11} - z_{11}) =$$

$$= 223,12 \cdot (5,43 - 0) + 47,29 \cdot (4,6 - 0) =$$

$$= 1429 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Крутний момент в небезпечних за міцністю перерізах:

$$M_{крz_1} = \frac{N_1}{\omega} = \frac{23193}{34,56} = 801 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{крz_2} = \frac{N_1}{\omega} = \frac{23193}{34,56} = 801 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Моменти опору в небезпечних перерізах:

$$W_{z_1} = W_{z_2} = \frac{\pi \cdot 0,08^3}{32} = 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

Еквівалентне напруження в небезпечних перерізах:

$$\sigma_{z1}^{III} = \frac{\sqrt{M_{z1}^2 + M_{крz1}^2}}{W_{z1}} = \frac{\sqrt{7720^2 + 801^2}}{6,28 \cdot 10^{-4}} = 12,35 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{z2}^{III} = \frac{\sqrt{M_{z2}^2 + M_{крz2}^2}}{W_{z2}} = \frac{\sqrt{1429,12^2 + 801^2}}{6,28 \cdot 10^{-4}} = 2,608 \text{ МПа}$$

Масштабний фактор:

$$\varepsilon_m = f(0,08) = 0,7$$

Допустиме напруження на міцність в небезпечному перерізі:

$$[\sigma_{z1}] = [\sigma_{z2}] = \frac{\varepsilon_m \cdot \sigma^{-1}}{K_{\sigma zk} \cdot n_{\min}} = \frac{0,7 \cdot 279}{1,46 \cdot 1,5} = 89,17 \text{ МПа}$$

Умова міцності:

$$\sigma_{z1}^{III} \leq [\sigma_{z1}]; 12,35 \leq 89,17 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{z2}^{III} \leq [\sigma_{z2}]; 2,608 \leq 89,17 \text{ МПа}$$

Отже умова міцності виконується.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Піліпис	Лат		

Висновок: Отже умова міцності для перемішуючого пристрою виконується, тобто еквівалентні напруження в небезпечних перерізах вала набагато менші ніж допустимі і вал діаметром 80 мм забезпечує умову міцності.

## 4.2 Розрахунок випарного апарату

Мета: визначення основних конструктивних та енергетичних показників випарного апарату, що використовується біодизелю.

### 4.2.1 Розрахунок матеріального балансу вакуум-випарного апарату

Мета розрахунку: визначення необхідної продуктивності апарату по випареному розчину та випареній воді.

Вихідні дані:

кількість розчину, який поступає на випарювання $G_{\text{п}}$ , кг/с	4,048;
початкова концентрація $x_{\text{п}}$ , %	97,2;
кінцева концентрація $x_{\text{к}}$ , %	100.

Розрахунки виконуються за методикою наведеною в [27, стр. 362].

Матеріальний баланс по загальній кількості продуктів подають в наступному вигляді:

$$G_{\text{п}} = G_{\text{к}} + W$$

$$G_{\text{п}} \cdot x_{\text{п}} = G_{\text{к}} \cdot x_{\text{к}}$$

З наведених вище рівнянь визначаємо продуктивність апарату:

– по випареному розчину, кг/с

$$G_{\text{к}} = \frac{G_{\text{п}} \cdot x_{\text{п}}}{x_{\text{к}}} = \frac{4,048 \cdot 97,2}{100} = 3,93$$

– по випареному спирту, кг/с:

$$W = G_{\text{п}} \cdot \left(1 - \frac{x_{\text{п}}}{x_{\text{к}}}\right) = 4,048 \cdot \left(1 - \frac{97,2}{100}\right) = 0,118$$

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Лат		

Висновки: Було розраховано продуктивність по випареному розчину 3,93 кг/с; по випареному спирту 0,118 кг/с.

#### 4.2.2 Розрахунок теплового балансу

Мета розрахунку: визначення теплового навантаження та витрати пари.

Вихідні дані:

кількість розчину, який поступає на випарювання $G_{\text{п}}$ , кг/с	4,048;
температура вторинних парів $t_{\text{ен}}$ , °C	79;
початкова температура розчину $t_1$ , °C	65;
температура грюючих пари $t_{\text{гп}}$ , °C	112
питома теплоємність складових при початковій температурі:	
біодизель $Cp_6$ , Дж/кг·K	1900;
етилового спирту $Cp_c$ , Дж/кг·K	3122;
питома теплота пароутворення етилового спирту $r_c$ , кДж/кг	848;
питома теплота пароутворення води $r_{\text{гп}}$ , кДж/кг	2225.

Розрахунки виконуються за методикою наведеною в [128, стр. 122].

Температура кипіння розчину °C:

$$t_{\text{кип}} = t_{\text{вп}} + \Delta = 79 + 0,5 = 79,5$$

де  $\Delta = 0$  °C – повна дисперсія.

Повна дисперсія визначається за формулою, °C:

$$\Delta = \Delta' + \Delta'' + \Delta''' = 0,5 + 0 + 0 = 0,5$$

де  $\Delta'$  – температурна депресія, дорівнює 0,5 °C;  $\Delta''$  – гідростатична депресія, при розрахунку температури кипіння в плівкових випарних апаратах гідростатичну депресію не враховують, тобто вона дорівнює 0 °C;  $\Delta'''$  – гідравлічна депресія, обумовлена втратою тиску на подолання гідравлічних опорів трубопроводів при переході із корпусу в корпус, звичайно у розрахунках приймають  $\Delta''' = 1,0 \div 1,5$  °C, приймаємо  $\Delta''' = 0$  °C

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

Витрати тепла на підігрів розчину до температури кипіння, кВт:

$$Q_1 = G_{\text{п}} \cdot C p_{\text{п}} \cdot (t_{\text{кип}} - t_1) = 4,048 \cdot 1931 \cdot (79,5 - 65) = 113$$

Витрати гріючого пару для нагрівання розчи, кг/с:

$$G_{\text{гп1}} = \frac{1,03 \cdot Q_1}{r_{\text{гп}}} = \frac{1,03 \cdot 113}{2225} = 0,05$$

Витрати тепла на упарювання розчину, кВт:

$$Q_2 = W \cdot r_c = 0,118 \cdot 2345 = 276 \text{ кВт}$$

Витрати гріючого пару на упарювання розчину, кг/с:

$$G_{\text{гп2}} = \frac{1,03 \cdot Q_2}{r_{\text{гп}}} = \frac{1,03 \cdot 276}{2225} = 0,127$$

Загальні витрати тепла на упарювання розчину, кВт:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 113 + 276 = 389,$$

де  $C p_{\text{п}}$  – теплоємність розчину визначаємо за формулою, Дж/кг·К

$$C p_{\text{п}} = C p_{\text{б}} \cdot \frac{x_{\text{п}}}{100} + C p_{\text{с}} \cdot \frac{100 - x_{\text{п}}}{100} = 1900 \cdot \frac{97,2}{100} + 3122 \cdot \frac{100 - 97,2}{100} = 1931$$

Загальні витрати гріючого пару, кг/с:

$$G_{\text{гп}} = G_{\text{гп1}} + G_{\text{гп2}} = 0,05 + 0,127 = 0,177$$

Корисна різниця температур, °С:

$$\Delta t_{\text{кор}} = t_{\text{гп}} - t_{\text{кип}} = 112 - 79,5 = 32,5$$

Висновки: розраховано теплове навантаження  $Q = 389$  кВт, витрати гріючого пару  $G_{\text{гп}} = 0,227$  кг/с. та корисну різницю температур  $\Delta t_{\text{кор}} = 32,5$  °С.

#### 4.2.3 Розрахунок коефіцієнтів тепловіддачі та теплопередачі

Мета розрахунку: розрахувати коефіцієнти теплопередачі для визначення поверхні теплообміну з основного рівняння теплопередачі.

Схема передачі тепла від одного теплоносія іншому через стінку апарата подана на рисунку 4.9.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Лат		

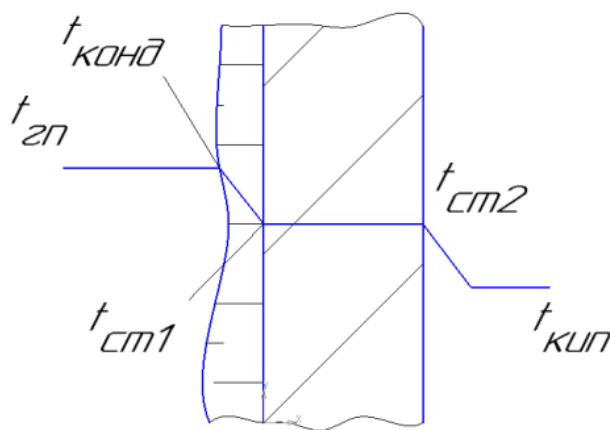


Рисунок 4.9 – Схема теплопередачі через стінку апарата

Вихідні дані:

кількість розчину, який поступає на випарювання $G_{\text{п}}$ , кг/с	4,048;
витрати тепла на упарювання розчину $Q$ , кВт	389;
кількість розчину, який поступає на випарювання $G_{\text{п}}$ , кг/с	4,048;
продуктивність по випареній воді $W$ , кг/с	0,118;
початкова концентрація розчину $x_{\text{п}}$ , %	97,2;
кінцева концентрація $x_{\text{к}}$ , %	100;
початкова температура суміші $t_{\text{поч}}$ , °C	65;
температура граючої пари $t_{\text{гп}}$ , °C	112;
температура кипіння розчину $t_{\text{кип}}$ , °C	79,5.

Температура плівки конденсату, °C:

$$t_{\text{конд}} = t_{\text{гп}} - 0,5 \cdot \frac{k}{a_1} \cdot (t_{\text{гп}} - t_{\text{кип}}) = 112 - 0,5 \cdot 0,25 \cdot (112 - 79,5) = 107,9$$

де  $\frac{k}{a_1} = 0,25$

Температура стінки, °C:

$$t_{\text{ст}} = 2 \cdot t_{\text{конд}} - t_{\text{гп}} = 2 \cdot 107,9 - 112 = 103,8$$

Частковий температурний напір, °C:

$$\Delta t = t_{\text{гп}} - t_{\text{ст}} = 112 - 103,8 = 8,2$$

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

Орієнтовна площа, м<sup>2</sup>:

$$F_{\text{ор}} = \frac{Q}{q} = \frac{389000}{40000} = 9,725$$

Приймаємо довжину труб рівною  $l = 2$  м та розмірами 38х2,5.

Визначаємо число труб:

$$n = \frac{F_{\text{ор}}}{\pi \cdot d \cdot l} = \frac{9,725}{3,14 \cdot 0,038 \cdot 2} = 41$$

Щільність зрошування конденсата на зовнішній поверхні труб, кг/(мс):

$$\Gamma = \frac{G_{\text{гп}}}{n \cdot \pi \cdot d} = \frac{0,177}{41 \cdot 3,14 \cdot 0,038} = 0,036$$

Визначаємо критерій Рейнольдса:

$$Re_{\text{пл}} = \frac{4 \cdot \Gamma}{\mu_{\text{р}}} = \frac{4 \cdot 0,036}{0,000251} = 580$$

Визначаємо критерій Нусельда при конденсації на вертикальних площинах при  $Re_{\text{пл}} > 400$ :

$$Nu_{\text{пл}} = \frac{Re_{\text{пл}}}{\frac{6,25 \cdot (Re_{\text{пл}} - 400)}{Pr^{0,33}} + 1580} = \frac{580}{\frac{6,25 \cdot (580 - 400)}{1,55^{0,33}} + 1580} = 0,277$$

Приведена товщина плівки, м:

$$\delta_{\text{прив}} = \left( \frac{\mu^2}{\rho^2 \cdot g} \right)^{0,33} = \left( \frac{0,000251^2}{949^2 \cdot 9,81} \right)^{0,33} = 6,02 \cdot 10^{-5}$$

Коефіцієнт тепловіддачі від конденсату до стінки апарату, Вт/м<sup>2</sup>·К:

$$a_1 = \frac{Nu_{\text{пл}} \cdot \lambda}{\delta_{\text{прив}}} = \frac{0,277 \cdot 0,68}{6,02 \cdot 10^{-5}} = 7198$$

Щільність зрошування конденсата на зовнішній поверхні труб, кг/(мс):

$$\Gamma = \frac{G}{n \cdot \pi \cdot d} = \frac{4,048}{41 \cdot 3,14 \cdot 0,038} = 0,82$$

Визначаємо критерій Рейнольдса:

$$Re_{\text{пл}} = \frac{4 \cdot \Gamma}{\mu_{\text{р}}} = \frac{4 \cdot 0,82}{0,0012} = 2758$$

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Піппис	Лат		



Товщина плівки в трубах, м:

$$\delta = \left(0,75 \cdot \frac{\nu_{\text{роз}}^2}{g}\right)^{0,33} \cdot Re_{\text{пл}}^{0,33} = \left(0,75 \cdot \frac{(1,29 \cdot 10^{-6})^2}{9,81}\right)^{0,33} \cdot 137^{0,33} = 7,4 \cdot 10^{-4}$$

Розраховуємо тепловіддачі до плівки рідини, Вт/м<sup>2</sup>·К:

$$a_2 = c \cdot \frac{\lambda_{\text{роз}}}{\delta} \cdot (0,25 \cdot Re)^n \cdot \left(\frac{\delta \cdot q}{\lambda_{\text{роз}} \cdot t_{\text{вп}}}\right)^m = 2,6 \cdot \frac{0,242}{7,4 \cdot 10^{-4}} \cdot (0,25 \cdot 2758)^{0,203} \cdot \left(\frac{7,4 \cdot 10^{-4} \cdot q}{0,242 \cdot 79}\right)^{0,302} = 169 \cdot q^{0,302}$$

де  $q$  – питоме теплове навантаження, Вт/м<sup>2</sup>. Приймаємо, що теплове навантаження більше 20000, тоді коефіцієнти та показники степені дорівнюють  $c=2,6$ ;  $n=0,203$ ;  $m=0,302$ .

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі, Вт/м<sup>2</sup>·К:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{a_2} + \frac{1}{r_3}} = \frac{1}{\frac{1}{7198} + \frac{0,0025}{17} + \frac{1}{169 \cdot q^{0,302}} + \frac{1}{3000}} = \frac{1}{0,000619 + \frac{1}{169 \cdot q^{0,302}}}$$

де  $1/r_3=1/3000$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С) – теплова провідність забруднень зі сторони розчину.

Питоме теплове навантаження, Вт/м<sup>2</sup>:

$$q = \Delta t_{\text{кор}} \cdot K = \frac{32,5}{0,000619 + \frac{1}{169 \cdot q^{0,302}}}$$

звідси

$$\Delta t_{\text{кор}} = 0,000619 \cdot q + 0,00239 \cdot q^{0,698}$$

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

Розраховуємо питоме теплове навантаження методом послідовних наближень: задаємось різними значеннями  $q$ , проводимо розрахунок корисної різниці температур та будуємо графік рисунок 4.10.

$q, \text{Вт/м}^2$	25000	5000
$\Delta t_{\text{кор}}, ^\circ\text{C}$	18	35,5

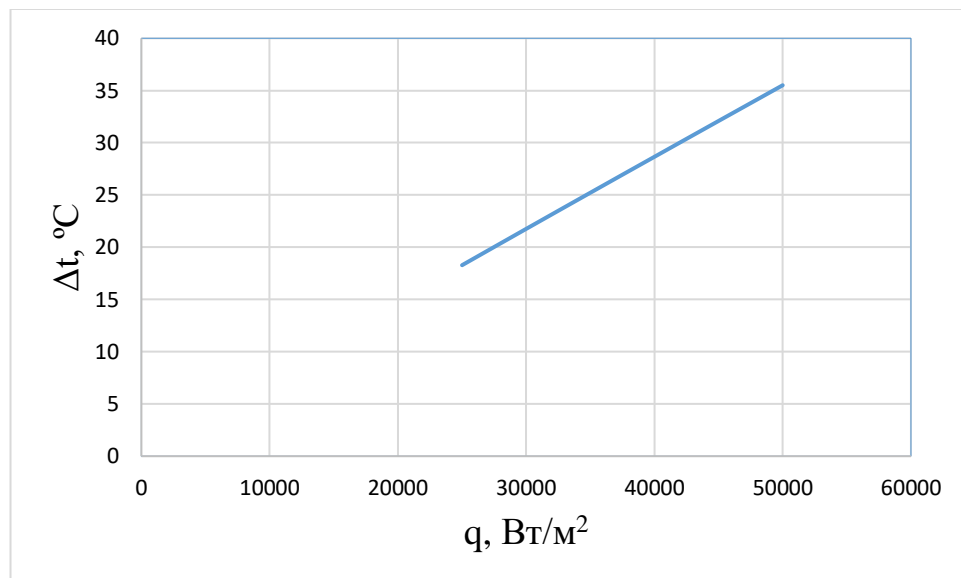


Рисунок 4.10 – Визначення теплової загрузки апарату

З графіка бачимо, що для попередньо визначеної  $\Delta t_{\text{кор}}=34^\circ\text{C}$  питоме теплове навантаження  $q=47800 \text{ Вт/м}^2$ .

Коефіцієнт теплопередачі,  $K, \text{Вт/м}^2\cdot\text{K}$ :

$$K = \frac{q}{\Delta t_{\text{кор}}} = \frac{47800}{34} = 1405$$

Поверхня теплообміну,  $\text{м}^2$ :

$$F = \frac{Q_{\text{вип}}}{K \Delta t_{\text{кор}}} = \frac{511751}{1400 \cdot 40} = 9,14 \text{ м}^2.$$

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{кор}}} = \frac{389000}{1405 \cdot 34} = 8,14$$

Приймаємо площу рівною  $10 \text{ м}^2$ .

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Лат		

Висновки: Для випарювання етилового ефіру продуктивністю 4,048 кг/с з початковою концентрацією  $x_n=97,2\%$  до кінцевої концентрації  $x_k=100\%$  необхідно один випарний апарат зі стандартною площею  $F=10\text{ м}^2$  [25].

#### 4.2.4 Конструктивний розрахунок випарного апарату

Мета розрахунку: визначення геометричних параметрів плівкового випарника та сепаратора.

Вихідні дані:

поверхня теплообміну $F$ , $\text{м}^2$	10;
довжина труб $L$ , м	2;
зовнішній діаметр труб $d$ , м	0,038;
коефіцієнт використання трубних ґрат $\psi$	0,8;

Розрахунки виконуються за методикою, що наведена в [28, стр. 79].

Розраховуємо кількість труб гріючої камери:

$$n = \frac{F}{\pi \cdot d \cdot L} = \frac{10}{3,14 \cdot 0,038 \cdot 2} = 41,9$$

Приймаємо  $n = 48$ .

Крок між трубами, мм:

$$t = (1,3 \div 1,5) \cdot d = 1,315 \cdot 0,038 = 60$$

Визначаємо внутрішній діаметр корпусу гріючої камери  $D_K$  при розміщенні труб по вершинах правильного шестикутника, мм:

$$D_K = 1,1 \cdot t \cdot \sqrt{n} = 1,1 \cdot 60 \cdot \sqrt{48} = 457$$

Приймаємо  $D_K = 500\text{ мм}$  [25].

Обсяг парового простору (сепаратора) випарного апарату  $V_c$ :

$$V_c = \frac{W}{W'};$$

де  $W'$  - допустима напруга парового простору,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ .

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Лат		

Значення  $W'$  приблизно визначається,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ :

$$W' = f_1 \cdot f_2 \cdot W_{\text{атм}} = 0,85 \cdot 1 \cdot 1000 = 850$$

де  $W_{\text{атм}}$  - значення напруги парового простору, що допускається. При  $P=0,1$  МПа, приймаємо  $1000 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ;

$f_1$  - залежить від тиску, приймаємо  $0,85$ ;

$f_2$  - залежить від рівня  $H$  розчину над крапкою введення парорідинної суміші в паровий простір, приймаємо  $1$ .

Знайдемо об'єм сепаратора  $V_c$  за формулою,  $\text{м}^3$ :

$$V_c = \frac{W}{W'} = \frac{3,93 \cdot 3600}{850} = 6,64$$

Приймаємо  $D_c = D_k = 500 \text{ мм}$  і визначаємо швидкість пари в сепараторі,  $\text{м/с}$ :

$$W_{\text{п}} = \frac{W}{\rho_{\text{п}} \cdot D_c^2 \cdot 0,785} = \frac{3,93}{0,1302 \cdot 0,5^2 \cdot 0,785} = 153,8$$

Критерій Рейнольдса знаходимо:

$$\text{Re} = \frac{w_n d_k \rho_n}{\mu_n} = \frac{5,346 \cdot 0,0006 \cdot 0,1302}{10,921 \cdot 10^{-6}} = 38,243$$

де  $d_k$  - діаметр краплі,  $\text{м}$ ;  $\rho_n$  - щільність пари,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\mu_n$  - в'язкість пари,  $\text{Па} \cdot \text{с}$ .

Для  $\text{Re} < 500$  коефіцієнт опору розраховується за формулою:

$$\xi = \frac{18,5}{\text{Re}^{0,6}} = \frac{18,5}{38,243^{0,6}} = 2,078.$$

Швидкість витання краплі:

$$w_{\text{вит}} = \sqrt{\frac{4g(\rho_{\text{роз}} - \rho_n)d_k}{3\xi\rho_n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,81(988 - 0,1302)0,0006}{3 \cdot 2,078 \cdot 0,1302}} = 5,353 \text{ м/с},$$

де  $\rho_{\text{роз}}, \rho_n$  - відповідно густини рідини і пари.

Визначаємо висоту парового простору,  $\text{м}$ :

$$H_c = \frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot D_c^2} = \frac{4 \cdot 0,1664}{3,14 \cdot 0,5^2} = 0,8478$$

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Лат		

Приймаємо  $D=1$  м.

Висновок: визначено конструктивні параметри випарного апарату.

#### 4.2.5 Розрахунок еліптичного днища випарного апарату під дією зовнішнього тиску

Мета розрахунку: розрахувати еліптичне днище випарного апарату під дією зовнішнього тиску у без моментний період.

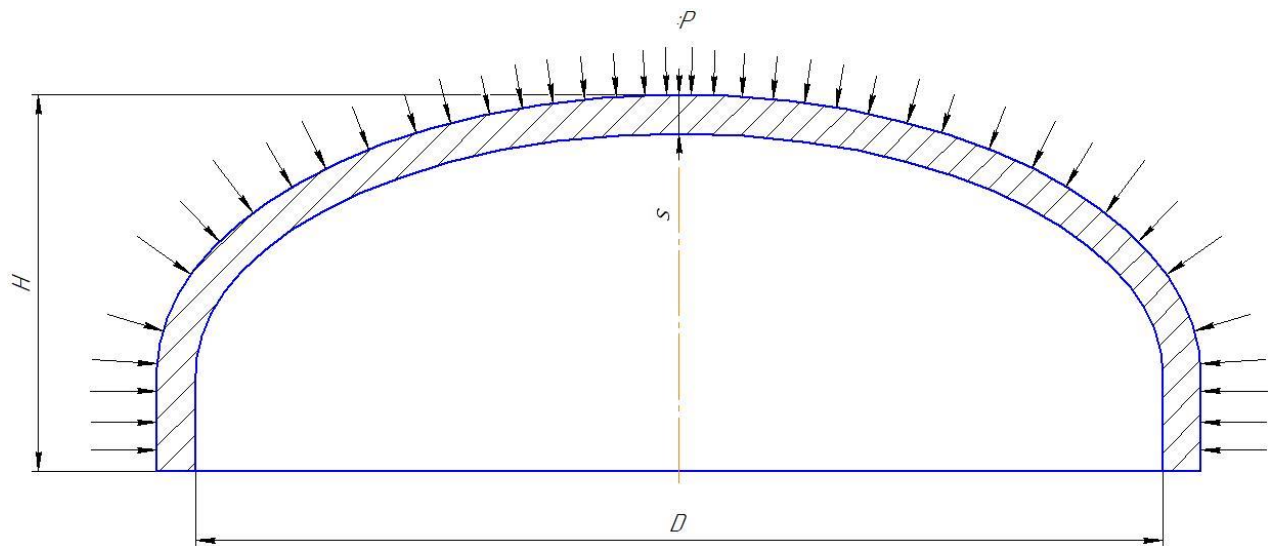


Рисунок 4.11 - Розрахункова схема еліптичного днища

Вихідні дані:

діаметр апарата $D$ , м	0,5;
зовнішній тиск $p_R$ , МПа	0,1;
модуль пружності матеріалу обичайки $E$ , МПа	$1,98 \cdot 10^5$ ;

Розрахунки виконуються за методикою наведеною в [20].

Радіус кривизни у вершині днища  $R = D$  при  $H = 0,25D$ .

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

Товщину стінки днища приблизно знайдемо за формулами:

$$s_R = \max \left[ \frac{K_3 R}{510} \sqrt{\frac{n_u P_R}{10^{-6} E}}; \frac{P_R R}{2[\sigma]} \right];$$

$$s_D \geq s_R + c.$$

Для попереднього розрахунку приймемо  $K_3=0,9$  для еліптичного днища:

$$s_R = \max \left\{ \frac{0,9 \cdot 0,25}{510} \sqrt{\frac{2,4 \cdot 0,1}{10^{-6} \cdot 1,89 \cdot 10^5}}; \frac{0,1 \cdot 0,25}{2 \cdot 168} \right\};$$

$$s_R = \max \{0,00077; 0,00019\};$$

$$s_D = 0,0007 + 0,0013 = 0,00208 \text{ м}$$

Приймаємо  $s_D = 6 \text{ мм}$ .

По формулі допустимий тиск із умови на міцність:

$$[P]_M = \frac{2[\sigma](s_D - c)}{R + 0,5(s_D - c)} = \frac{2 \cdot 168 \cdot (0,006 - 0,0013)}{0,25 + (0,006 - 0,0013)} = 3,902 \text{ МПа}$$

А допустимий тиск із умови стійкості у межах міцності:

$$[P]_E = \frac{26 \cdot 10^{-6} E}{n_u} \left[ \frac{100(s - c)}{K_3 R} \right]^2 = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot 1,89 \cdot 10^5}{2,4} \left[ \frac{100(0,006 - 0,0013)}{0,9 \cdot 0,25} \right]^2 = 3,656 \text{ МПа}$$

$$[P] = \frac{[P]_M}{\sqrt{1 + \left( \frac{[P]_M}{[P]_E} \right)^2}} = \frac{3,902}{\sqrt{1 + \left( \frac{3,902}{3,656} \right)^2}} = 2,668 \text{ МПа}$$

$$P \leq [P]; \quad 0,1 \leq 2,668 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується.

Висновки: проведено розрахунок еліптичного днища випарного апарату.

Визначено товщину стінки  $s = 6 \text{ мм}$ .

#### 4.2.6 Розрахунок еліптичного днища сепаратора випарного апарату під дією зовнішнього тиску

Мета розрахунку: розрахувати еліптичне днище сепаратора випарного апарату під дією зовнішнього тиску у без моментний період.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

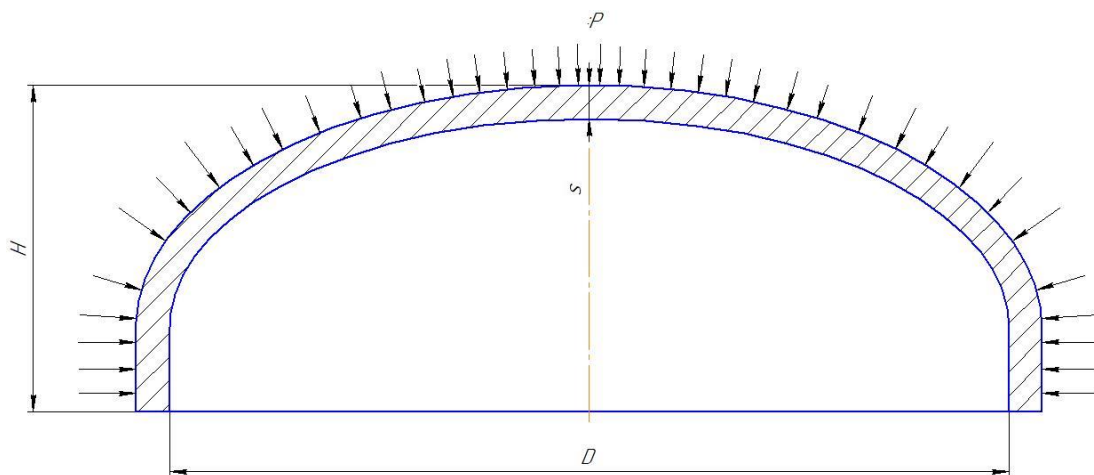


Рисунок 4.12 - Розрахункова схема еліптичного днища

Вихідні дані:

діаметр апарата  $D$ , м 1;  
 зовнішній тиск  $p_R$ , МПа 0,1;  
 модуль пружності матеріалу обичайки  $E$ , МПа  $1,98 \cdot 10^5$ ;

Розрахунки виконуються за методикою наведеною в [20].

Радіус кривизни у вершині днища  $R = D$  при  $H = 0,25D$ .

Товщину стінки днища приблизно знайдемо за формулами:

$$s_R = \max \left[ \frac{K_3 R}{510} \sqrt{\frac{n_u P_R}{10^{-6} E}}; \frac{P_R R}{2[\sigma]} \right];$$

$$s_D \geq s_R + c.$$

Для попереднього розрахунку приймемо  $K_3=0,9$  для еліптичного днища:

$$s_R = \max \left\{ \frac{0,9 \cdot 0,5}{510} \sqrt{\frac{2,4 \cdot 0,1}{10^{-6} \cdot 1,89 \cdot 10^5}}; \frac{0,1 \cdot 0,5}{2 \cdot 168} \right\};$$

$$s_R = \max \{0,00117; 0,000179\};$$

$$s_D = 0,00117 + 0,0013 = 0,00247 \text{ м}$$

Приймаємо  $s_D = 6 \text{ мм}$ .

					ЛН71МП. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Піліпис	Лат		

По формулі допустимий тиск із умови на міцність:

$$[P]_m = \frac{2[\sigma](s_d - c)}{R + 0,5(s_d - c)} = \frac{2 \cdot 168 \cdot (0,006 - 0,0013)}{0,5 + (0,006 - 0,0013)} = 2,611 \text{ МПа}$$

А допустимий тиск із умови стійкості у межах міцності:

$$[P]_E = \frac{26 \cdot 10^{-6} E}{n_u} \left[ \frac{100(s - c)}{K_{\vartheta} R} \right]^2 = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot 1,89 \cdot 10^5}{2,4} \left[ \frac{100(0,006 - 0,0013)}{0,9 \cdot 0,5} \right]^2 = 1,379 \text{ МПа}$$

$$[P] = \frac{[P]_m}{\sqrt{1 + \left( \frac{[P]_m}{[P]_E} \right)^2}} = \frac{2,611}{\sqrt{1 + \left( \frac{2,611}{1,379} \right)^2}} = 1,379 \text{ МПа}$$

$$P \leq [P]; \quad 0,1 \leq 1,379 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується.

Висновки: проведено розрахунок еліптичного днища сепаратора випарного апарату. Визначено товщину стінки  $s = 6 \text{ мм}$ .

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Лат		



## 5. Охорона праці і безпека в надзвичайних ситуаціях

Охорона праці та навколишнього середовища включає в себе широкий спектр різних питань: безпека праці, аварійні ситуації на виробництві та їх запобігання, усунення причин травматизму та попередження професійних захворювань.

При роботі лінії розробляються заходи щодо забезпечення безпечних умов праці згідно теми магістерської дисертації «Модернізація установки виробництва біодзелю із розробкою реактора та випарного апарату» на стадії виробництва.

Площа та об'єм робочого місця оператора  $S = 45 \text{ м}^2$ ,  $V = 250 \text{ м}^3$  тобто, наявні такі шкідливі і небезпечні виробничі фактори:

- виробничий шум, вібрація;
- враження електричним струмом;
- повітря робочої зони;
- освітленість;
- пожежна безпека.

### 5.1 Виробничий шум та вібрація

Основними джерелами шуму є установлені на приладах вентилятори. Вони дають однакові рівні звуку для втраченої потужності та частоти обертання. Середнє значення рівня звуку дорівнює  $L = 95 \text{ дБА}$ . Рівень звукового тиску (дБ) в октавних смугах частот, еквівалентні рівні звуку (дБА) для постійних робочих місць при активному стані установки у якому фактичні показники дорівнюють 60 дБА та не перевищують допустимих величин (табл. 4.13), установлених ДСН № 3.3.6.037-99.

Для зниження шуму на шляху його поширення потрібно використати ізоляцію джерел шуму або приміщень (кожухи, кабіни, екрани, звукоізолюючі

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Піппис	Лат		

огородження, засоби віброізоляції); для індивідуального захисту від шуму використовуємо: протишумові вкладиші, навушники і шоломи.

Ротор вентилятора є причиною виникнення вібрації.

Встановлення захисних кожухів знижує рівень вібрації. Також для цього слід використати засоби індивідуального захисту. Для захисту тіла потрібні нагрудники, пояси, спеціальні костюми. Рукавиці, вкладиші, прокладки використовуються для захисту рук. Для захисту ніг – спеціальне взуття, підметки, наколінники. На постійних робочих місцях при працюючій установці у виробничих приміщеннях рівень загальної технологічної вібрації не перевищує норм, установлених ДСН 3.3.6.039-99.

## **5.2 Небезпека враження електричним струмом**

Установку відносять до особливо небезпечних згідно правил користування (ПУЕ), так як вона може розташовуватися на відкритому повітрі.

Для живлення установки використовується трифазна напруга 220/380 В з частотою 50 Гц. нейтраль ізольована.

Є ряд причин враження обслуговуючого персоналу струмом. Серед них виділяють: помилкове включення установки; випадки дотику людей до відкритих струмопровідних частин електроустаткування; пробій на корпусі; старіння ізоляції і втрата нею ізоляційних властивостей; дотик до частин установки, що можуть опинитися під напругою у випадку короткого замикання.

При використанні малих напруг, забезпечується безпека експлуатації обладнання, як і з захисним розділенням мереж, контролем і профілактикою пошкодження ізоляції, забезпеченням недоступності до струмоведучих частин, застосовуванням засобів індивідуального захисту тощо.

До заходів безпеки для запобігання травм відносять: поміщення рубильників вмикання установки у спеціальній шафі; спеціальне захисне вимикання електродвигунів у випадку враження людини струмом; проведення

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

дротів в захисних металевих рукавах; на панель керування виводяться сигнальні лампи індикації вмикання електроустаткування; вузли установки, що можуть виявитися під напругою, мають зажими для приєднання заземлення.

Електрична міцність ізоляції перевіряється на випробувальну напругу 200 В частотою 50 Гц протягом 1 хвилини.

Опір ізоляції має бути більше включно 0,5 МОм.

Ізоляція провідників вимірюється мегаомметром 11044 ТУ25-04-798-18.

Напруга вимірюється вольтметром 351512 ТУ 25-04-1970-80.

Контроль ступені захисту електричної апаратури всередині приміщень відбувається за ГОСТ 14254-80.

Інструменти повинні мати неструмопровідний корпус і ізольовані ручки. При роботі використовуються чоботи, гумові рукавички, індикатори напруги, які розташовують поблизу щита. Біля затисків заземлення наносяться незмивні червоні знаки «Земля». При аварійному режимі захисне заземлення  $R_{\text{заз}} = 3,8 \text{ Ом}$  відповідно ГОСТ 12.1.030-82. На рисунку 5.1 наведено схему захисного заземлення.

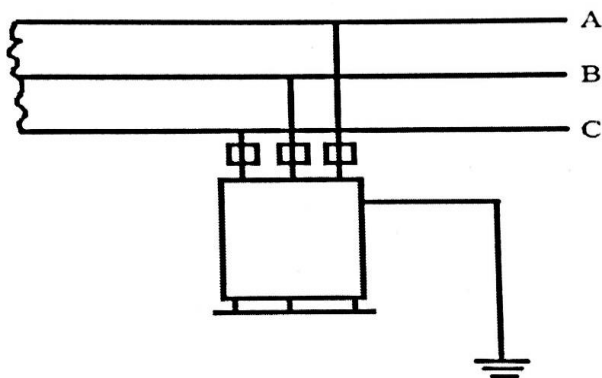


Рисунок 5.1 – Схема захисного заземлення

### 5.3 Повітря робочої зони

Установка розташована в умовах шуму та підвищеної запиленості повітря, тому робота операторів ферментера відноситься до важкої фізичної роботи, і така робота проводиться у 3 зміни, цілодобово, у будь-який час року.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

Щоб зменшити запиленість використовуємо дві витяжні вентиляційні установки, об'ємом подаваемого повітря 100 м<sup>3</sup>/год.

Усі параметри відповідають нормам. Забезпечення параметрів здійснюється в зимовий час за допомогою водяного опалення з температурою теплоносія 70 – 90 °С, а в теплий час року – витяжною вентиляцією СНиП 2.04.05-86.

## 5.4 Освітленість

Належне освітлення грає важливу роль для безпечної та комфортної роботи працівників.

Так як фактичне освітлення виробничого приміщення становить 100 лк, а освітленість має бути не менше  $E_{\text{нор.}} = 150$  лк, то потрібно розрахувати освітлення, яке забезпечить виконання нормативної величини освітлення.

кількість світильників у приміщенні  $N = 16$ ;

кількість ламп у світильнику  $n = 1$ ;

коефіцієнт запасу  $K_3 = 1.3$ ;

коефіцієнт використання світлового потоку  $\eta = 0,18$ ;

коефіцієнт нерівномірності освітлення:  $z = 1,1$ ;

світловий потік для ламп типу ДРЛ 125:  $\Phi_{\text{л}} = 5600$  лм.

Перерахована фактична освітленість  $E_{\text{ф}} = 1320$  лк

Так як перерахована фактична освітленість на об'єкті – 2100 лк, то можна зробити наступний висновок: штучне освітлення відповідає ДБН В.2.5–28–2006.

## 5.5 Пожежна безпека

В ході експлуатації устаткування під дією вібрації, поштовхів і різких коливань порушується щільність електричних контактів. У місцях з'єднань проводки виникають великі перехідні опори, що викликають місцевий нагрів а це в свою чергу може призвести до пожежі.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

За ПУЕ клас зони установки – рукавний фільтр, за ОНТП 24-86 виробництво за пожежонебезпечністю віднесено до категорії В, клас захисту П-Па. За СНиП 2.01.02-85 вогнестійкість будинку відповідає II ступеню.

До заходів для запобігання загорання відносять: дотримання технологічних норм і правил експлуатації; паління тільки у відведених для цього місцях; обмеження в застосування відкритого вогню; своєчасне проведення інструктажу з охорони праці серед обслуговуючого персоналу; наявність засобів сигналізації, тобто, системи електричної пожежної сигналізації (ЕСП) та засобів оперативного зв'язку з пожежною частиною; наявність засобів пожежогасіння в безпосередній близькості від установки (пісок, ковдри, вогнегасники).

Вогнегасники з вуглекислим газом ОУ-8 застосовують для гасіння невеликих ділянок загорання при вимкненому електроустаткуванні (2 шт.). Для гасіння ввімкнених електромереж приймаємо порошкові вогнегасники ОП-10 (2 шт.).

У приміщенні, де розташовується установка повинні розміщуватися пожежні гідранти на відстані 30 метрів один від одного з рукавами довжиною до 10 метрів. Відстань до пожежного виходу має бути не більш 40 метрів, а їх кількість – не менш двох. Ширина отвору дверей еваковиходу – 2 метри. Згідно СНиП 2.09.02-85 двері еваковиходу повинні відкриватись назовні.

Висновки: встановлений рівень надійності обладнання досягається в наслідок дотримання оптимальних норм та вимог, що встановлені у нормативних документах, а саме: міждержавних, державних, галузевих стандартів, стандартів підприємства, ремонтної та експлуатаційної документації.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

## **6 Рекомендації, щодо монтажу та експлуатації апаратів установки виробництва біодизелю**

Складальні роботи з монтажу полягають у встановленні апарату на фундаменті, встановленні та приєднанні допоміжного устаткування: трубопроводів, деталей вузлів підведення і відводу середовищ, встановленні приладів контролю й автоматичного регулювання. У процесі монтажу виявляються та усуваються дефекти конструкції і виготовленої апаратури. Одночасно здійснюється налагодження роботи апарата задля підготовки до експлуатації.

Проектом монтажних-складальних робіт передбачається зазвичай наступна послідовність операцій складання:

- встановлення корпусу апарата на фундамент;
- встановлення обслуговуючих сходів;
- встановлення елементів, що знаходяться всередині апарата;
- встановлення кришок апаратів;
- приєднання всіх трубопроводів;
- встановлення арматури і контрольно-вимірювальних приладів;
- герметизація місць з'єднання апарату;
- приєднання допоміжних механізмів та пристроїв;
- встановлення огорожень.

Стропування необхідно виконувати згідно схем на складальних кресленнях, використовуючи необхідні засоби.

До виконання висотних робіт допускається тільки персонал, що має необхідні дозволи.

До встановлення опор на фундамент необхідно: перевірити розміри фундаменту на кресленні по висоті, нахилу, а також їх відповідність робочим кресленням фундаменту, присутність реперних планок по поздовжнім та поперечним осям для можливості коректного встановлення опор. Перевірити відповідність розмірів фундаментних болтів на кресленні та фактичних розмірів

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		

заглиблень під фундаментні болти. Провернути гайки по різьбі болтів (вони повинні бути змащені машинним маслом і легко повертатись під рукою). Перевірити стан опор апаратів, усунути бруд та корозію, зняти залишки фарби з нижніх опорних поверхонь.

Після закінчення монтажно-збиральних робіт апарати мають обов'язково пройти випробування. Спочатку проводять підготовчі роботи, що пов'язані з оглядом та перевіркою стану усіх частин та вузлів апарата. При цьому особливу увагу треба звернути на присутність в конструкціях арматури, приладів, болтів, кришок, прокладок, заглушок та інших деталей, які забезпечують герметичність системи.

В систему випробувань входить гідравлічне та пневматичне випробування апарату разом з трубопроводами на тиск, що вказаний на кресленнях. При випробуваннях перевіряють герметичність та надійність роботи вентилів, клапанів, кранів та іншої арматури, а також щільність всіх роз'ємних з'єднань.

Підготовка апаратів до експлуатації включає перевірку температур теплоносіїв на вході та на виході з апарату, витрат теплоносіїв, тиск всередині апарата та в трубопроводі. При цьому слід звернути увагу на надійність та легкість управління технологічним процесом.

Результати випробувань виявляють дефекти та недоліки, які в подальшому заносять в акт випробувань на конкретний апарат.

Апарати вважаються прийнятими в експлуатацію після підписання акту з боку замовника та представників монтажно-ї організації.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Лат		

## 7 Рівень стандартизації та уніфікації

У даній магістерській десиртації, розробляється реактор з механічним перемішуючим пристроєм та випарний апарат, які входять до складу лінії виробництва біодизелю; запропоновано найбільша допустима кількість уніфікованих та стандартизованих одиниць та параметри, що не погіршують якість, основних показників установки.

При розробці апаратів використовуємо стандартні, уніфіковані вузли та деталі.

Реактор:

Уніфікованими елементами є: кришки еліптичні відбортовані за ГОСТ 6533-68; циліндрична обичайка за ГОСТ 9617-67; шайби за ГОСТ 906575; шпильки за ГОСТ 9066-75; гайки за ГОСТ 9064-75; фланці за ГОСТ 1282180; шпонки за ГОСТ 23360-78; болти за ОСТ 26-2037-96; прокладки за ОСТ 26430-79; штуцери за АТК 24.218.06-90.

Рівень стандартизації:

$$K_c = \frac{n_c}{N} \cdot 100\% = \frac{618}{649} \cdot 100\% = 94,9 \%$$

рівень уніфікації:

$$K_y = \frac{n_c + n_z}{N} \cdot 100\% = \frac{616 + 12}{649} \cdot 100\% = 96,8 \%$$

де  $N$  - загальна кількість деталей у проектованому реакторі, із них стандартних  $n_c$ , уніфікованих –  $n_z$ .

Випарний апарат:

Уніфікованими елементами є: кришки еліптичні відбортовані за ГОСТ 6533-68; циліндрична обичайка за ГОСТ 9617-67; шайби за ГОСТ 906575; шпильки за ГОСТ 9066-75; гайки за ГОСТ 9064-75; фланці за ГОСТ 1282180;; болти за ОСТ 26-2037-96; прокладки за ОСТ 26430-79; штуцери за АТК 24.218.06-90.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ локум.	Пілпис	Лат		



Рівень стандартизації:

$$K_c = \frac{n_c}{N} \cdot 100\% = \frac{548}{611} \cdot 100\% = 89,7 \%$$

рівень уніфікації:

$$K_y = \frac{n_c + n_3}{N} \cdot 100\% = \frac{548 + 14}{611} \cdot 100\% = 91,9 \%$$

де  $N$  - загальна кількість деталей у проектованому випарному апараті, із них стандартних  $n_c$ , уніфікованих –  $n_3$ .

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Лат		

## 8. Розроблення стартап-проекту

### 8.1 Опис ідеї проекту

Метою стартапу є запровадження сучасних технологій у різних сферах діяльності людини, він розрахований на реалізацію як малим, так і середнім та великим бізнесом [37]. Основну ідею запроєктованого стартап-проекту викладено в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Ідея та опис стартап-проекту

Викладення ідеї	Напрямки реалізації	Результат для користувача
Ідея запроєктованого стартап-проекту лежить у представленні на ринок повного спектру інженерних послуг	1.Інженерно-технічні послуги (розробка обладнання/модернізація обладнання) в хімічній та харчовій галузі виробництва	Послуга полягає у отриманні клієнтом технічної документації запроєктованого обладнання, виготовлення обладнання та подальший супровід протягом використання замовником.
	2.Дослідження та аналіз виробництва в хімічній та харчовій галузі виробництва	Послуга полягає у отриманні клієнтом комплексної перевірки технічної здатності обладнання до виготовлення певних видів продукції та перевірки якості отриманого товару чи послуги
	3.Фінансова звітність та консалтингові послуги в хімічній та харчовій галузі виробництва	Послуга полягає у отриманні клієнтом можливості контролювати свою фінансову звітність та повного спектру консультування з питань у сфері технічної, комерційної, фінансової, технологічної діяльності.
	4. Проектування та розробка апаратного забезпечення в хімічній та харчовій галузі виробництва	Послуга полягає у отриманні клієнтом якісних та сучасних проектів в хімічній та харчовій галузі виробництва.

Даний підхід надає можливість представити користувачу повний спектр послуг.

В ході виконання було:

- проведено аналіз техніко-економічних переваг запроєктованої ідеї порівняно з пропозиціями, котрі представлені на ринку;
- визначено список техніко-економічних властивостей та характеристик проекту;
- визначено наявне коло конкурентів, що вже існують на ринку, та проведено збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів;
- проведено порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено значення, що мають а) гірші показники (W, слабкі); б) мінімальні (N, нейтральні) показники; в) оптимальні показники (S, сильні) (таблиця 8.2) для виходу на ринок.

Таблиця 8.2 - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Напрямки реалізації	Нині наявні послуги на ринку				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проект	Елерон	АвтGroup	Systems			
Інженерно-технічні послуги в хімічній та харчовій галузі виробництва	має	має	має	має	-	-	+
Дослідження та аналіз в хімічній та харчовій галузі виробництва	має	немає	має	немає	-	-	+
Фінансова звітність та консалтингові послуги	має	немає	має	немає	-	-	+
Розробка програмного забезпечення	має	немає	немає	має	-	-	+
Креативний дизайн апаратів хімічної та харчової промисловості	має	має	немає	має	-	+	-
Послуги архітектора	немає	немає	немає	немає	+	-	-

Визначений перелік слабких (а саме послуги архітектора), сильних (спеціалізація в харчовій промисловості) та нейтральних (креативний дизайн

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Лат		

апаратів хімічної та харчової промисловості) характеристик та властивостей ідеї потенційних послуг, що є основою для формування його конкурентоспроможності.

## 8.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проведено аудит способу, за допомогою якого можна реалізувати ідею проекту та наведено його у таблиці.

Таблиця 8.3 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Надання повного спектру інженерно-технічних аутсорсингових послуг	Створення сайту та оренда офісу з комп'ютерною технікою для роботи персоналу. Інтелектуальні ресурси підприємства включають інтелектуальну працю та інтелектуальні продукти, що будуть патентуватися по мірі створення	Дані технології існують. В розробці/добробці їх немає необхідності, оскільки ми будемо залучати вже освічених фахівців, що вже мають спеціальну інженерну освіту	Технології є доступні.

За результатами проведеного аналізу було з'ясовано, що аспекти технологічної реалізації проекту, та методи реалізації є доступними для реалізації.

## 8.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Основні учасники ринку:

Основними учасниками ринку є державні та приватні конструкторські відділи, які виконують роботу тільки на власні підприємства та організації, що виконують аутсорсингові послуги в сфері інжинірингу, аудиту та аутсорсингу.

Таблиця 8.4 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Кількість учасників, од	4
Загальний обсяг продаж, грн/ум.од.	130 000
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Масштабність Терміни Бюджет
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДСТУ, ГОСТ, ISO
Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	83

За результатами аналізу таблиці можна зробити висновок, що за попереднім оцінюванням ринок є привабливим для входження.

Економічні та соціальні тенденції ринку:

На даний момент ринок знаходиться на стадії введення. Економічна ситуація в Україні та поступовий вхід України до Європейського Союзу вимагає перепрофілювання наших підприємств, збільшення конкурентоспроможності промисловості та введення нових інноваційних технологій та інвестицій.

Географічне розміщення споживачів даного ринку є неоднорідним по світу. Найбільше споживачів знаходиться в країнах, що розвиваються. Саме тому ринок інжинірингу, аудиту, аутсорингу є перспективним. Головною ціллю багатьох підприємств є конкурентоспроможність, що досягається покращенням якості виготовленої продукції, зменшенням затрат на виробництво та експлуатацію обладнання, створення нового асортименту продукції тощо.

Конкуренція на даному ринку є невеликою, оскільки даний вид діяльності є новим. Оскільки в минулому більшість підприємств мали власні відділи, що займалися даним видом діяльності, а саме конструкторські бюро, відділи постачання та продажу. Наш проект передбачає співпрацю з клієнтом згідно його вимог, з захистом інтелектуальної власності клієнта. Виконана робота на вимогу клієнта не розголошуватиметься, також наш проект за необхідністю передбачає

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Лат		

допомогу в патентуванні розробок клієнта. Також можемо запропонувати клієнту власні розробки, модернізації та інновації на вигідних умовах.

Місця розподілу ринку:

КБ розміщуються насамперед в великих містах, з розвиненою промисловістю. А саме в м. Дніпрі, Києві, Харкові, Львові та інших містах де розміщуються великі підприємства з хімічної та харчової промисловостей.

Поведінка клієнтів набуває великого значення для початку проекту, оскільки від репутації компанії залежить довіра потенційних покупців та клієнтів. Саме тому окрім рекламування послуг в соціальних мережах та на рекламних майданчиках мережі інтернет, необхідно підтримувати репутацію серед клієнтів. Насамперед можна це забезпечити високою якістю виконаних послуг для споживачів, внаслідок чого можлива довгострокова співпраця та залученні до співробітництва зміжних підприємств та компаній. Окрім цього, конкуренти, з ями мають справу клієнти, можуть помітити ці позитивні зміни в роботі та також піти на співпрацю з нашим КБ.

Далі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (таблиця 8.5).

Таблиця 8.5 - Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Потреба в інноваційних, високоефективних проектах і економії на заробітній платі для подолання наслідків попередніх економічних криз.	Хімічні та харчові компанії.	Необхідність виготовлення продукції у відповідності до різних норм та стандартів	-якість: стандарти, нормативи, вимоги -швидкість, -доступність.

Таблиця 8.6 - Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Економічні: криза, інфляція, підвищення цін на сировину виробництва	Впливає на купівлю/продаж товару/ресурсу необхідного для товару	Підвищення/пониження ціни на продукт у залежності від цін на сировину. Прив'язка до курсу валют.
Політико-правові: «Закон України про підприємницьку діяльність»	Впливає на працездатність проекту, купівлю/продаж товару, або ресурсу необхідного для товару Недостатня підтримка державою нових підприємців.	Зміна напрямків імпорту/експорту. Відповідність вимогам законодавства України та країн з якими ведеться співпраця.
«Закони України про ліцензування певних видів господарської діяльності».	Дороговартісні ліцензії, заборона на діяльність без ліцензії	Відповідність вимогам законодавства України та країн з якими ведеться співпраця.
Природні: природні катаклізми, дефіцит ресурсу	Зростання ціни на ресурс	Розробка нових технологій з використанням інших матеріалів

Таблиця 8.7 - Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Науково-технічні: зміна технології виготовлення обладнання	Залучення молодих та перспективних кадрів та співпраця з вищими навчальними закладами	Розробка нового обладнання та конструкцій змішувальних елементів. Впровадження даної технології та декларування власної ціни на дану пропозицію.
Демографічні: зростання населення	Збільшення попиту на різні типи продукції хімічної і харчової промисловості	Збільшення числа потенційних клієнтів в майбутньому.
Соціально-культурні: консервативність поглядів споживачів	Небажання споживачів купувати нове обладнання, а модернізувати старе	Пропонувати споживачам замість купівлі нового обладнання модернізацію їх виробництва за допомогою послуг КБ

Надалі проводимо аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку (таблиця 8.8).

Таблиця 8.8 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентно-спроможною)
1. Тип конкуренції: Олігополія	Мала кількість спеціалістів здатних якісно виконувати комплексну роботу.	Співпраця з технічними вузами задля покращення якості розробок
2. За рівнем конкурентної боротьби: національний	Якісні інженерні послуги необхідні на кожному підприємстві)	Надання консалтингових послуг та можливість співпраці з нашим інженерним відділом)
3. За галузевою ознакою: міжгалузева	На підприємстві працюють працівники здатні надавати широкий спектр послуг.	Наша компанія охоплює майже усі напрямки розробок і може надати якісні консалтингові послуги.
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-видова між бажаннями	Є типові конструкції, а також можливість розробки індивідуальних апаратів.	Підприємство орієнтоване на малий, середній та великий бізнес та має можливості проектувати відповідне обладнання
8. За характером конкурентних переваг: цінова	Компанія буде мати як і конкуренцію по низькій ціні так і на якості продукції.	Дасть можливість зайняти нішу якісного дешевого обладнання в Україні та світі.
6. За інтенсивністю: марочна	Наша мета зробити всесвітньо відомим наш бренд	Можливість надавати послуги по усьому світу.

Після аналізу конкуренції необхідно провести більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (таблиця 8.9).

Таблиця 8.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти
Складові аналізу	Всі підприємства, які займаються консалтингом і аутсорсингом промислових підприємств	Конкурентом може стати підприємство яке почне співпрацювати з технічними вузами.	Постачальники мають незначний вплив на основний напрям (консалтинг, аутсорсинг), але мають вплив на напрям по продажу товарів (комплектуючих виробів та ін.)	-не конкурентно спроможне обладнання -високі ціни на товари -не якісні послуги -без інноваційне.



Висновки:	На даному етапі розвитку в Україні дуже мало підприємств які можуть провести якісну оцінку роботи підприємства.	На сьогодні будь який інвестор може стати нашим конкурентом почавши співпрацювати з університетами.	Від постачальника буде залежить час поставки комплектуючих та його мінімальна вартість.	Клієнту завжди необхідно: конкурентно спроможне обладнання за низькою ціною якісне та інноваційне
-----------	---	---	---	---

На основі аналізу конкуренції в (таблиця 8.9), а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (таблиця 8.4), вимог споживачів до товару (таблиця 8.5) та факторів маркетингового середовища (таблиця № 8.6-8.7) визначимо перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз вноситься до таблиці 8.10.

Таблиця 8.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
Низька ціна	Так як будемо співпрацювати з науково-технічною базою університету, то зможемо залучати молодих фахівців для розробки обладнання. Також низька ціна буде через те що обладнання буде продаватися не одному замовнику на сайті і кожен підприємець зможе його купити.
Якість(швидкість та надійність)	При замовленні документації, покупець матиме можливість звернутися до нас консультаціями.
Комплексний підхід	Надається комплекс послуг по розробці, виготовленню і монтажу, а також постачаємо комплектуючі за низькими цінами

За визначеними факторами конкурентоспроможності (таблиця 8.10) проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (таблиця 8.11).

Таблиця 8.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні проектом						
		-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Низька ціна	7	О		Д				
Якість кінцевої продукції	13			Д		О		

Швидкість надання послуг	16					Д	О	
Асортимент	9		О	Д				
Рівень концентрації виробництва	3		О		Д			
* О – Елерон  Д – АвтGroup	Сильні сторони				Слабкі сторони			
	Низька ціна				Якість кінцевої продукції, Швидкість надання послуг, Асортимент			
	Якість кінцевої продукції, Рівень концентрації виробництва				Асортимент, Висока ціна			

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) (таблиця 8.15) та можливостей (Opportunities) (таблиця 8.16) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (таблиця 8.21).

Таблиця 8.12 – Формулювання управлінської проблеми SWOT- аналіз.

Сильні сторони	Слабкі сторони
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Високий інтелектуальний потенціал компанії</li> <li>- Інноваційність технології</li> <li>- Адаптованість продукту суміжні ринки</li> <li>-Можливість виходу на закордонний ринок</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Невідоме «ім'я» підприємства</li> <li>- Недостатній рівень фінансування</li> <li>-Зменшення кількості можливих постачальників в умовах кризи</li> </ul>
Можливості	Загрози
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Перевага над конкурентним товаром за рахунок малокомпонентності, енергоефективності, екологічної безпеки обладнання</li> <li>- Підвищення продуктивності розробок за рахунок ефективної командної діяльності</li> <li>- Подолання конкуренції за рахунок унікального дизайну систем</li> <li>-Плідна співпраця з постачальниками на взаємовигідних умовах поступок</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Поява інноваційного промислового обладнання, що не потребує впровадження пропонованих систем</li> <li>- Витіснення конкурентами компанії з ринку</li> <li>- Недостатнє фінансування, відсутність інвесторів</li> <li>-Недостатність клієнтів-підприємств, що можуть дозволити собі оновлення систем</li> <li>-Витіснення вітчизняного товару закордонним</li> </ul>

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (таблиця 8.13).

Таблиця 8.13 - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
Ремонт/удосконалення існуючого теплообмінного обладнання підприємств	Невеликі підприємства часто мають складнощі з ремонту або удосконалення існуючого обладнання через відсутність рем.цехів, чи придбання обладнання без супроводу. Даний проект можна реалізувати через існуючі зв'язки КБ та заводів, що виробляють теплообмінники.	Можна реалізувати за лічені хвилини. Не потребує додаткових затрат
Запуск власного виробництва біодизелю	Виробництво біодизелю є перспективним напрямком, так як сировиною може бути будь-який жир тваринного походження, або рослинна олія. Використовувати біодизель можна індивідуально, і в суміші з дизельним паливом без переобладнання двигунів. В умовах енергетичної кризи зацікавленість держави зростає і виробникам надають пільги на розвиток підприємства та реалізацію продукції.	Для реалізації необхідно набагато більше грошових коштів та людського потенціалу.

Після аналізу обираємо альтернативу. Мета полягає в підвищенні рентабельності за рахунок максимально широкого використання ефекту досвіду. Зв'язок між рентабельністю і часткою ринку спостерігається в основному у сфері масового виробництва, коли конкурентна перевага пов'язана з економією на витратах.

#### 8.4 Розроблення ринкової стратегії стартап-проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку, тобто опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 8.14).

Таблиця 8.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
Малі приватні промислові підприємства хімічної та харчової галузей	Висока	Високий	Середній	Середня
Великі промислові підприємства хімічної та харчової галузей	Мала	Середній	Висока	Середня

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (табл. 8.15).

Таблиця 8.15 – Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкуренто-спроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
<b>Наступник</b>	Концентрація на потребах одного цільового сегменту	Надання інженерних консалтингових послуг малим промисловим підприємствам	Стратегія спеціалізації

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (таблиця 8.16).

Таблиця 8.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
На території України для малих і середніх підприємств проект не є першопрохідцем.	В планах компанії пошук нових споживачів та розширення клієнти конкурентів	Не буде	Стратегія виклику лідера

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту (див. таблиця 8.5), а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (таблиця 8.13) та стратегії конкурентної поведінки (таблиця 8.14) розробляється стратегія позиціонування (таблиця 8.17). що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торговельну проект.

Таблиця 8.17 – Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкуренто-спроможні позиції власного стартап проекту	Вибір асоціацій, які мають сформулювати комплексну позицію власного проекту*
Якісне надання послуг з урахуванням всіх стандартів, норм та вимог	Стратегія спеціалізації.	Стратегія виклику лідера.	Конкуренто-спроможні послуги.

## 8.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Спочатку необхідно сформулювати маркетингові концепції товару, який отримає споживач. Для цього у табл. 18 потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 8.18 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Висока актуальність створення індивідуального теплообмінного обладнання	Збільшення чистого прибутку шляхом зменшення енерговитрат під час виробництва.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Високий інтелектуальний потенціал компанії</li> <li>- Інноваційність технології</li> <li>- Високий рівень енергозбереження та ресурсозбереження загалом</li> <li>- Адаптованість продукту суміжні ринки</li> <li>- Підвищення продуктивності процесу та якості товару</li> <li>- Індивідуальний підхід до виготовлення теплообмінного обладнання</li> </ul>

Було розроблено трирівневу маркетингову модель товару: уточнено ідею послуги, фізичні складові, особливості процесу його надання (таблиця 8.28). Перелік можливих характеристик товару наведено у методиці.

Основними техніко-економічними характеристиками товару є:

- Економічні – характеризують вартість обслуговування, експлуатації, утилізації, витратних матеріалів, ремонту, знижки;

- Призначення (технічні) – показники, які характеризують основний напрямок використання товару та прогнозовану сферу його застосування (класифікаційні показники, технічної досконалості, складу і структури);

- Надійності – здатність товару зберігати характеристики, що дозволяють безвідмовно функціонувати (довговічність, ремонтпридатність, безвідмовність);

- Технологічні – можливість оптимізації витрат матеріалів, трудомісткості, швидкості під час технологічної підготовки виробництва, виготовлення та реалізації товару;

- Ергономічні – показники ступеню налаштування технічних та конструктивних рішень виробу до здатностей людини та середовища використання товару: антропометричні, гігієнічні, фізіологічні та психологічні;

- Органолептичні – визначають властивості продукції, які людина сприймає за допомогою своїх органів чуття;

- Естетичні – характеристики за якими оцінюють зовнішній вигляд товару;

- Екологічності – характеризують рівень негативного впливу на навколишнє середовище;

- Транспортабельності – визначають адаптивність продукції до підготовчих, початкових і завершальних операцій транспортування;

- Безпеки – характеризують безпечність споживання товару.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Лат		

Формулюємо три рівні товару: товар за задумом, товар у реальному виконанні та товар із підкріпленням. Далі розглядаємо техніко-економічні характеристики кожного рівню товару, отримані дані вносимо до таблиці 8.19.

Таблиця 8.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Обрана альтернатива розвитку проекту	Сутність та складові			
I. Товар за задумом	покращення якості готового продукту – зменшення витрат енергетичних, матеріальних та людських ресурсів на виробництво.			
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	м <sup>2</sup>	Вр/Тх /Тл/Е/Ор	
	1. Повторно перероблений полімер упаковки для подальшого використання. 2. Надійність 3. Малокомпонентність 4. Енерго- та ресурсозбереження 5. Доступна ціна 6. Інноваційність технології	0,4x0,1		
	Якість: відповідає Європейським нормам та ДСТУ. Тестування проводиться перед встановленням, а також на місці.			
	Пакування – картонне пакування для уникання деформацій чи пошкодження			
	Марка: «Just Add Water»			
III. Товар із підкріпленням	До продажу: • програми лояльності при підписанні довготривалого контракту; • різні способи доставки; • різні способи оплати; • демонстрації та моделювання роботи			
	Після продажу: • впровадження; • обслуговування; • супровід; • навчання персоналу; • гарантія повернення грошей і обміну товару.			
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: буде розроблено патент на винахід, на кожному товарі буде акцизна марка та фірмовий штамп.				

Захист буде організовано за рахунок захисту ідеї товару у патентному відомстві.

Далі визначаються цінові межі, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 8.20). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 8.20 - Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
100 - 150 грн	немає	100 тис. грн/міс	Верхня: 250 грн Нижня: 100 грн

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (таблиця 8. 21):

Таблиця 8.21 - Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Клієнти хочуть на власні очі бачити продукт та його тестування перед закупівлею.	Ефективність Тестування Доставка	Нульовий рівень. Компанія сама займається всіма етапами розробки обалднання. Споживач отримує продукцію з усіма необхідними компонентами.	Власна система збуту і домовленість про подальшу співпрацю

При визначенні оптимальної системи збуту було вирішено, що будемо проводити збут власними силами.

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (таблиця 8.22).

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Пілпис	Лат		



Таблиця 8.22 - Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування
Орієнтована на використання вузькоспеціальної комунікації, що визначається особливістю галузевої приналежності	Мережа інтернет, виставки, друкована продукція	Спеціалізовані виставки такі як: Міжнародна спеціалізована виставка Технології захисту/ПожТех; Міжнародний авіакосмічний салон AVIACBIT; Галузева експозиція ПЕК УКРАЇНИ; Міжнародна спеціалізована виставка НАФТОГАЗЕКСПО; МІЖНАРОДНИЙ ПРОМИСЛОВИЙ ФОРУМ; Міжнародна спеціалізована виставка PLAST EXPO UA. На виставках буде розповсюджуватися друкована продукція. В мережі інтернет буде здійснюватися, адресна розсилка комерційних пропозицій за базою даних потенційних клієнтів, також буде розміщено рекламу на основних профільних сайтах та в соціальних мережах.

Результатом пункту 8.4 створено ринкову програму, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та основні потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено даний проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

## 8.6 Висновки до розділу

Після проведення аналізу було визначено перспективи впровадження з огляду на потенційні групи споживачів, стан конкуренції на ринку, бар'єри входження та конкурентоспроможність проекту. Поява даного проекту є актуальною через малу кількість компаній, які надають аналогічний спектр послуг, і має перспективи росту на ринку який відновлюється.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Лат		

## Висновки

В магістерській дисертації модернізовано лінію по виробництву біодизелю.

Проведено опис технологічного процесу виробництва біодизелю. Підібрані реактор та випарний апарат. Обґрунтовано обрані конструкції та вибрані технічні характеристики. Проведено патентний пошук. Розроблено заходи щодо вимог охорони праці. Виконані розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій апаратів. Надано рекомендації з монтажу та експлуатації. Розроблено стартап-проект. Оцінено рівень стандартизації та уніфікації розроблюваних апаратів. Проведено розробку технологічного процесу виготовлення деталі (вал) та схеми автоматичного керування технологічним процесом установки.

Проведено модернізацію установки виробництва біодизелю шляхом встановлення на турбінній мішалці закритого типу закріплених звужених на зовнішніх краях верхній і нижній розподільчі диски із отворами. У результаті модернізації забезпечується більша дисперсність середовища, а також зменшуються витрати електроенергії та підвищується ефективність процесу перемішування.

Графічна частина складається з десяти креслень в перерахунку на формат А1. Виконані креслення схеми установки виробництва біодизелю, функціональна схема автоматизації, складальні креслення реактора, випарного апарату, а також креслення валу, пристосування для закріплення валу на верстаті. До складальних креслень складено специфікації.

За результатами роботи отримано деклараційний патент України на корисну модель ферментера та опубліковано дві тези доповідей на Міжнародних конференціях та одна Всеукраїнській конференції.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Лат		

## Выводы

В магистерской диссертации модернизировано линию по производству биодизеля.

Проведено описание технологического процесса производства биодизеля. Подобранные реактор и выпарной апарат. Обоснованно выбраны конструкции и избранные технические характеристики. Проведен патентный поиск. Разработаны меры по требованиям охраны труда. Выполнены расчеты, подтверждающие работоспособность и надежность конструкций аппаратов. Даны рекомендации по монтажу и эксплуатации. Разработан стартап-проект. Оценен уровень стандартизации и унификации разрабатываемых аппаратов. Проведена разработка технологического процесса изготовления детали (вал) и схемы автоматического управления технологическим процессом установки.

Проведена модернизация установки производства биодизеля путем установки на турбинной мешалке закрытого типа закрепленных суженных на наружных краях верхней и нижней распределительные диски с отверстиями. В результате модернизации обеспечивается большая дисперсность среды, а также уменьшаются расходы электроэнергии и повышается эффективность процесса перемешивания.

Графическая часть состоит из десяти чертежей в пересчете на формат А1. Выполнены чертежи схемы установки производства биодизеля, функциональная схема автоматизации, сборочные чертежи реактора, испарительного аппарата, а также чертежи вала, приспособления для закрепления вала на станке. К сборочных чертежей составлен спецификации.

По результатам работы получено декларационный патент Украины на полезную модель ферментера и опубликовано два тезиса докладов на международных конференциях и одна Всеукраинской конференции.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Пілпис	Лат		

## Conclusions

In the master's thesis, the biodiesel production line has been modernized.

A description of the technological process of production of biodiesel. Selected reactor and evaporator. Reasonably selected designs and selected specifications. Conducted patent search. Developed measures for labor protection requirements. The calculations confirming the performance and reliability of the structures of the devices. Recommendations for installation and operation. A startup project has been developed. The level of standardization and unification of the devices being developed is estimated. The development of the technological process of manufacturing parts (shaft) and the scheme of automatic control of the technological process of the installation.

A modernization of the biodiesel production unit was carried out by installing closed-type fixed on the outer edges of the upper and lower distribution discs with holes on the turbine mixer. As a result of the modernization, a large dispersion of the medium is provided, as well as the power consumption is reduced and the efficiency of the mixing process is increased.

The graphic part consists of ten drawings in terms of A1 format. The drawings of the biodiesel production unit, the functional diagram of automation, the assembly drawings of the reactor, the evaporator apparatus, as well as the drawings of the shaft, the fixtures for fixing the shaft on the machine are completed. For assembly drawings drawn up specifications.

According to the results of work, a declarative patent of Ukraine for the useful model of a fermenter was obtained and two theses of reports at international conferences and one of the All-Ukrainian conference were published.

					ЛН71МП. 066620.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Адк.	№ доквм.	Піппис	Лат		

## Перелік посилань

1. Паушкин Я.М., Лapidус А.Л., Адельсон С.В. Растительная биомасса как сырье для получения олефинов и моторных топлив // Химия и технология топлив масел. – 1994. – №6. – С.3-5.
2. Девянин С.Н., Марков В.А., Семенов В.Г. Растительные масла и топлива на основе для дизельных двигателей – Х:Новое слово, 2007. – С. 27-41
3. Аблаев А.Р. Производство и применение биодизеля: Справочное пособие/ А.Р. Аблаев, Ф.М. Гумеров, И.Ф. Левин и др. – М.: АПК и ППРО, 2006. – 80 с.
4. Patent № EP3159054 A1, Int. cl. B01D 1/22; F28D 7/10; Evaporator / Jessica L. (ASTORIA, US); John W. (FIELDS, US); James W. (HORTON, US); Application Number: 15190329.1; Publication Date: 26.04.2017.
5. Patent № CN206715350U, Int. cl. B01D 1/22; B01D 1/30; Application Number: 201720245382.3; Publication Date: 14.03.2017.
6. Patent № US 10035077 B2, Int. cl. B01D1 1/06; F28B 1/02; B01D 1/30; Falling film evaporator / Jessica L. (ASTORIA, US); John W. (FIELDS, US); James W. (HORTON, US); Application Number: 15190329.1; Publication Date: 31.07.2018 Patent № US10035077 B2, Int. cl. B01D1/06; B01D1/30; F28B1/02; Falling film evaporator / Arvi Artamo (Espoo, FI); Pentti Juhola (Espoo, FI); Application Number: 13/822924; Publication Date: 07/31/2018.
7. Патент № 114996 (UA), МПК F28F 1/10 (2006.01); Трубчастий елемент теплообмінника / Тищенко К.В.; Стапанюк А.Р. (UA); Заявка № u 2016 11141, 04.11.2016; Опубл. 27.03.2017; Бюл. № 6.
8. Патент № 115347 (UA), МПК C12M 1/02 (2006.01); Ферментер / Драгузя О.В.; Дахненко В.Л. (UA); Заявка № u 2016 11397, 10.11.2016; Опубл. 10.04.2017; Бюл. № 7.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Піліпис	Лат		

9. Патент № 115348 (UA), МПК F28F 1/42 (2006.01); Кожухотрубний теплообмінник / Драгузя К.В.; Дахненко В.Л. (UA); Заявка № у 2016 11398, 10.11.2016; Опубл. 10.04.2017; Бюл. № 7.

10. Патент № 118856 (UA), МПК C12M 1/02 (2006.01); Апарат х перемішуючим пристроєм/ Новікова Ю.П.; Зубрий О.Г. (UA); Заявка № у 2017 02937, 28.03.2017; Опубл. 28.08.2017; Бюл. № 16.

11. Патент № 123517 (UA), МПК B01F 7/18 (2006.01); Лопатева мішалка / Жиленков О.О.; Білецький В.С. (UA); Заявка № у 2017 10163, 26.02.2018; Опубл. 26.02.2018; Бюл. № 4.

12. ГОСТ 9931-85. Корпусы цилиндрические стальных сварных сосудов и аппаратов. Типы, основные параметры и размеры.

13. <http://chem21.info/info/221357/> від 03.10.2018

14. Лацинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры - Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.

15. ГОСТ 6533-78 Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры.

16. В.Н.Соколов. Аппаратура микробиологической промышленности / В.Н.Соколов, М.А. Яблокова. – Л.: Машиностроение, 1988. – 278 с.

17. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов/ Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. –10–у изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.

18. Сидоров Ю.І., Влязло Р.Й., Новіков В.П. Процеси і апарати мікробіологічної промисловості. Технологічні розрахунки. Приклади і задачі. Основи проектування виробництв. Навч. Посібник. Уз.ч. – Ч.1. Ферментація. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004.-240 с.

19. Плановский А.Н. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. – 2-е изд., перераб. и доп./ Плановский А.Н., Николаев П.И. – М.: Химия, 1972. – 630 с.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Лат		

20. ГОСТ 14249-89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность

21. Лашинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник.—Л.:Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1981.—382 с., ил.

22. АТК 24.200.04-90. Опоры цилиндрические и конические вертикальных аппаратов. Типы и основные размеры.

23. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи: Учеб. пособие для студентов вузов/ М. Ф. Михалев, Н.П. Третьяков, А.И. Мильченко, В.В. Зобнин; Под общ. ред. М.Ф. Михалева. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. – 301 с., ил.

24. В. Г. Доброногов. Алгоритм расчета на виброустойчивость валов механических перемешивающих устройств: Методические указания к применению числительной техники в курсе “Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств” / В. Г. Доброногов, О. Г. Зубрий, Л. Г.Воронин. – К.: КПИ, 1990. – 39 с.

25. В. Г. Доброногов. Алгоритм расчета на жесткость валов механических перемешивающих устройств : Методические указания к применению вычислительной техники в курсе “Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств” / В. Г. Доброногов, О. Г. Зубрий, Л. Г. Воронин . – К.: КПИ, 1989. – 60 с.

26. В. Г. Доброногов. Алгоритм расчета на прочность валов механических перемешивающих устройств: Методические указания к применению числительной техники в курсе “Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств” / В. Г. Доброногов, О. Г. Зубрий, Л. Г. Воронин. – К.: КПИ, 1990. – 39 с.

27. РД 26-01-90-85 Механические перемешивающие устройства. Метод расчета

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Лат		

28. Дытнерский Ю.И.. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию/ Ю.И. Дытнерский, 2–е изд., перераб. и дополн. – М.: Химия, 1991. – 496 с.

29. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии/ Иоффе И.Л. – Л.: Химия, 1991. – 352 с.

30. Горошкин А.К. Приспособления для металлорежущих станков. Справочник / А.К. Горошкин – М.: Машиностроение, 1979. – 383 с.

31. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 1 и 2 /Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985-1986. - 823 с.

32. Горошкин А.К. Приспособления для металлорежущих станков. Справочник / А.К. Горошкин – М.: Машиностроение, 1979. – 383 с.

33. Расчет режимов резания. Учебное пособие / Безъязычный В. Ф.,Аверьянов И. Н., Кордюков А. В. – Рыбинск: РГАТА, 2009. – 185 с.

34. Охрана труда и производственная безопасность: Учебно-методическое пособие / А.А. Раздорожный, – М.: Экзамен, 2005. – 512 с.

35. Тананайко Ю. М. Методика расчета и исследовани плёночных процессов/ Тананайко Ю.М., Воронцов Е.Г. –К.:КПИ. 1975. – 38с.

36. ГОСТ 11987-81 Аппараты выпарные трубчатые стальные. Типы, основные параметры и размеры

37. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

38. Форсайт економіки України: середньостроковий (2015–2020 роки) і довгостроковий (2020–2030 роки) часові горизонти / наук. керівник проекту акад. НАН України М. З. Згуровський // Міжнародна рада з науки (ICSU); Комітет із системного аналізу при Президії НАН України; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»; Інститут

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Лат		



прикладного системного аналізу НАН України і МОН України; Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку. — Київ : НТУУ «КПІ», 2015. — 136 с. ISBN 978-966-622-716-7.

39. Yudina N.V. Methods of the Startup-Project Developing Based on ‘the Four-Dimensional Thinking’ in Information Society // Marketing and Management of innovations. – 3’2017. – P.245-256.-DOI:10.21272/mmi.2017.3-23 Access mode : <http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/journals/2017/3/245-256>.

40. Юдіна Н.В. Міждисциплінарні платформи стартап-проектів [Електронний ресурс] // Міждисциплінарні дискусії : Матеріали науково-теоретичного семінару «Міждисциплінарні дослідження: теоретико-методологічні виміри», 5 грудня 2017 р. – Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка Інститут міжнародних відносин Навчально-науковий центр «Синтез». – 2017. – С. 20-24. - Режим доступу [http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20ceminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20\(1\).pdf](http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20ceminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20(1).pdf).

41. Юдіна Н. В. Визначення циклічних залежностей в економіці України на основі аналізу окремих макроекономічних показників. Економічний Вісник НТУУ «КПІ». №13(2016). <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/80084/75643>

42. Юдина Н. В. Антикризисные маркетинговые инструменты инновационного развития предприятий / Н.В. Юдина // Маркетинг и финансы. – 2014. – Т. 1. – С. 60– 72.

43. Юдіна Н.В. Управління майбутнім на основі концепції інноваційного розвитку // Антикризисное управління економікою України: нові виклики. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, КНЕУ ім. В.Гетьмана, 15-17 грудня 2015 року). – 2015. - С. 124-127. – Режим доступа : [http://futurolog.com.ua/blog\\_konferencia\\_kneu\\_2015\\_12\\_15.phtml](http://futurolog.com.ua/blog_konferencia_kneu_2015_12_15.phtml).

44. Юдіна Н.В. Управління майбутнім на основі концепції інноваційного розвитку // Антикризисное управління економікою України: нові виклики. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, КНЕУ ім.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Лат		

В.Гетьмана, 15-17 грудня 2015 року). – 2015. - С. 124-127. – Режим доступа : [http://futurollog.com.ua/blog\\_konferencia\\_kneu\\_2015\\_12\\_15.phtml](http://futurollog.com.ua/blog_konferencia_kneu_2015_12_15.phtml).

45. Юдіна Н. В. «Дорожня карта» підприємства у контексті футурології техногенної економіки. Традиції і інновації. [Електронний ресурс] / Н. В. Юдіна // Інновації та фундаментальні науки в умовах техногенної економіки : зб. матеріалів міждисциплінар. наук.-практ. конф., Київ, 25 листоп. 2016 р. / [уклад. Л. І. Юдіна]. – К., 2016. – Режим доступу : <http://futurollog.com.ua/publish/2/Zbirnyk.pdf#page=6>.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Пілпис	Лат		

Додаток А

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Лат		

Додаток В. Регламент патентного пошуку

Регламент патентного пошуку № ЛН71мп.066620 РП

Найменування теми: Реактор

Шифр теми: ЛН71мп.066620.001

Етап: Проектування апарата та його складових частин

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень:

ЛН71мп. 066620.001, 18.09.18

Предмет пошуку – змішувач, реактор, біореактор, ферментер, перемішувачий пристрій. (Об’єктом пошуку є винаходи і корисні моделі).

Мета пошуку інформації – визначення патентоздатності та патентної чистоти проєктованого апарату й визначення тенденцій розвитку цього напрямку в техніці.

Встановлюємо такі держави пошуку: Україна, США, Швеція, Китай, Японія., Китай

Термін дії патенту на винахід в Україні – 20 років, проте регламент пошуку встановлюємо такий: 2017–2018 р.р.

Класифікаційні індекси:

– міжнародна патентна класифікація: : МПК5, МПК6, МПК7, МПК8 - C12M1/06; C12M1/107; C05F17/02; C02F3/30; C12M1/04; C12M1/1; B01F7/18;

– уніфікована десяткова класифікація УДК 661.85

Джерела інформації:

– патентна інформація: описи до винаходів, офіційні патентні бюлетені Держпатенту України, Роспатенту;

– науково-технічна інформація: підручники й навчальні посібники з курсу процесів та апаратів хімічного та нафтопереробного виробництва;

– інтернет ресурси: <http://ep.espacenet.com/>, <http://www.uipv.org>, <http://uapatents.com>, [www.freepatent.ru/](http://www.freepatent.ru/), <http://www1.fips.ru/>.

Початок пошуку 18.09.18

Закінчення пошуку 28.08.18

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Лат		

Таблиця В.1 – Регламент пошуку

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Мета пошуку інформації	Держава пошуку	Класифікаційні індекси МПК, НПК, МКПЗ, МКТП, УДК	Ретро-спективність пошуку	Джерела інформації
Змішувач, реактор, біореактор, ферментер, мішалка	Визначення патентно-здатності та патентної чистоти проектного апарата й тенденції розвитку цього напрямку в техніці.	Україна, США, Швеція, Китай, Японія.	МПК5, МПК6, МПК7, МПК8 – C12M1/06; C12M1/107; C05F17/02; C02F3/30; C12M1/04; C12M1/1; B01F7/18; УДК 663.1.	2017-2018	Національні і зарубіжні офіційні бюлетені. Описи винаходів і корисних моделей.

Таблиця В.2 – Джерела інформації, використані під час проведення

пошуку

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Держава пошуку	Класифікаційні індекси	Інформаційна база, використана під час пошуку	Бібліографічні данні першого та останнього за хронологією джерела інформації	
				Патентна інформація	Інша науково-технічна інформація
Змішувач, реактор, біореактор, ферментер, мішалка	Україна, США, Китай, Японія.	МПК5, МПК6, МПК7, МПК8 – C12M1/06; C12M1/107; C05F17/02; C02F3/30; C12M1/04; C12M1/1; B01F7/18; УДК 663.1.	Фонд НТУУ “КПІ” Державний патентний фонд бази даних об’єктів промислової власності, до яких надається доступ в Інтернеті <a href="http://ep.espacenet.com/">http://ep.espacenet.com/</a> , <a href="http://www.uipv.org">http://www.uipv.org</a> , <a href="http://uapatents.com">http://uapatents.com</a>	Описи винаходів патентів України № 1–41000. Описи корисних моделей патентів України № 1–1050.	Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1971.– 785 с. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1983.– 272 с.

Таблиця В.3 Патентна документація, відібрана для подальшого аналізу

ОГД, його складові частини	Документи на об'єкти промислової власності	
	Бібліографічні дані	відомості щодо їхньої дії
1	2	3
Змішувач	Патент № 115347 (UA), МПК C12M 1/02 (2006.01); Ферментер / Драгузя О.В.; Дахненко В.Л. (UA); Заявка № u 2016 11397, 10.11.2016; Опубл. 10.04.2017; Бюл. № 7.	Діє
Змішувач	Патент № 118856 (UA), МПК C12M 1/02 (2006.01); Апарат х перемішуючим пристроєм/ Новікова Ю.П.; Зубрий О.Г. (UA); Заявка № u 2017 02937, 28.03.2017; Опубл. 28.08.2017; Бюл. № 16.	Діє
Змішувач	Патент № 118704 (UA), МПК C12M 1/04 (2006.01); Ферментер з вібраційним перемішуючим пристроєм / Кутовий М.Г.; Поводзинський В.М.; Шибецький В.Ю.; Костик С.І. (UA); Заявка № u 2017 01271, 13.02.2017; Опубл. 28.08.2017; Бюл. № 16.	Діє
Змішувач	Patent № US9724662; Gas mixer; Inventors: Satoshi Ohtsuki, Tatsuki Kumagai, Sayaka Yoshimura. Publication Date: 08/08/2017.	Діє
Змішувач	Patent US10137421; Static mixer; Inventor: Joong Hyun Lim, Jongho Hong; Publication Date:27/11/2018.	Діє

Таблиця В.4 Інша науково-технічна документація, відібрана для подальшого аналізу.

ОГД, його складові частини	Джерела інформації	Бібліографічні дані
Змішувач	Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию. /Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерский и др/ под ред Ю. И Дытнерского.	М.: Химия, 1973.- 756 с
Змішувач	Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты хим. технологии	М.: Химия, Москва 1971 – С.261

Висновок. У результаті проведеного патентного дослідження встановлено, що пропонований апарат і його складові частини відповідають умовам патентної чистоти винаходу (корисної моделі) через те, що усі суттєві ознаки найближчих аналогів не використано в проектних апаратах.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Пілпис	Лат		



Регламент пошуку № ЛН71мп.066620 РП

Найменування теми: Випарний апарат

Шифр теми: ЛН71мп.066620

Етап: Проектування апарата та його складових частин

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень:

ЛН71мп.066620, 29.09.18

Предмет пошуку – випарні апарати.

Мета пошуку інформації – визначення патентоздатності проектованого апарату й визначення тенденцій розвитку цього напрямку в техніці.

Встановлюємо такі держави пошуку: Україна, США, Велика Британія, Німеччина, Франція, Японія, Китай.

Термін дії патенту на винахід в Україні – 20 років, тому регламент пошуку встановлюємо такий: 2017–2018 р.р.

Класифікаційні індекси:

– міжнародна патентна класифікація: МПК5, МПК6, МПК7, МПК8 – B01D1/06; B01D1/30; F28B1/02; B01D1/22; C13B 25/00; B01D 1/00; B01D 1/04.

– уніфікована десяткова класифікація УДК 661.8

Джерела інформації:

– патентна інформація: описи до винаходів, офіційні патентні бюлетені

Держпатенту України:

– науково-технічна інформація: підручники й навчальні посібники з курсу процесів та апаратів хімічного та нафтопереробного виробництва.

– інтернет ресурси: <http://ep.espacenet.com/>, <http://Patents1.ic.gc.ca/intro-e.html>, <http://www.depatistnet.de/>, <http://www.swissreg.ch>

Початок пошуку 29.09.18

Закінчення пошуку 10.10.18

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Лат		

Таблиця В.5 – Регламент пошуку

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Мета пошуку інформації	Держава пошуку	Класифікаційні індекси МПК, НПК, МКПЗ, МКТП, УДК	Ретро-спективність пошуку	Джерела інформації
Випарний апарат	Визначення патентно-здатності та патентної чистоти проектного апарата й тенденції розвитку цього напрямку в техніці.	Україна, США, Велика Британія, Німеччина, Франція, Японія	МПК5, МПК6, МПК7, МПК8 – B01D1/06; B01D1/30; F28B1/02; B01D1/22; C13B 25/00; B01D 1/00; B01D 1/04 УДК 661.5.	2017-2018	Національні і зарубіжні офіційні бюлетені. Описи винаходів і корисних моделей.

Таблиця В.6 – Джерела інформації, використані під час проведення

пошуку

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Держава пошуку	Класифікаційні індекси	Інформаційна база, використана під час пошуку	Бібліографічні данні першого та останнього за хронологією джерела інформації	
				Патентна інформація	Інша науково-технічна інформація
Випарний апарат	Україна, США, Велика Британія, Німеччина, Франція, Японія, Китай.	МПК5, МПК6, МПК7, МПК8 – B01D1/06; B01D1/30; F28B1/02; B01D1/22; C13B 25/00; B01D 1/04 УДК 661.8.	Фонд НТУУ “КПІ” Державний патентний фонд бази даних об’єктів промислової власності, до яких надається доступ в Інтернеті <a href="http://ep.espacenet.com/">http://ep.espacenet.com/</a> , <a href="http://www.uipv.org">http://www.uipv.org</a> , <a href="http://uapatents.com">http://uapatents.com</a>	Описи винаходів патентів України № 1–41000. Описи корисних моделей патентів України № 1–1050. Описи винаходів патентів	Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1971.– 785 с.

Таблиця В.7 Патентна документація, відібрана для подальшого аналізу

ОГД, його складові частини	Документи на об'єкти промислової власності	
	бібліографічні дані	відомості щодо їхньої дії
1	2	3
Тепло-обмінник	Патент № 121939 (UA), МПК F28D 7/10 (2006.01); Теплообмінник «труба в трубі» / Мікульонок І.О.; Андреев І.А.; Довгошея А.А. (UA); Заявка № u 2017 05544, 06.06.2017; Опубл. 26.12.2017; Бюл. № 24.	Діє
Тепло-обмінник	Патент № 122008 (UA), МПК F28D 7/10 (2006.01); Теплообмінник «труба в трубі» / Андреев І.А.; Мікульонок І.О.; Чайківський К.В. (UA); Заявка № u 2017 06396, 22.06.2017; Опубл. 26.12.2017; Бюл. № 24.	Діє
Тепло-обмінник	Патент № 122866 (UA), F28D 7/10 (2006.01); Теплообмінник «труба в трубі» / Андреев І.А.; Мікульонок І.О.; Пищик Б.І. (UA); Заявка № u 2017 08937, 08.09.2017; Опубл. 25.01.2018; Бюл. № 2.	Діє
Холодильник	Patent US9989299 B1; Cooler; Inventor: Robert Ballar. Publication Date: 05/06/2018	Діє
Холодильник	Patent US20170276058A1; Charge air cooler; Inventor: Kevin BOCKSTANZ, Dwayne Robert Taylor. Publication Date: 27/08/2017	Діє

Таблиця В.8 Інша науково-технічна документація, відібрана для подальшого аналізу.

ОГД, його складові частини	Джерела інформації	Бібліографічні дані
Тепло-обмінник	Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию. /Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерский и др/ под ред Ю. И Дытнерского.	М.: Химия, 1973.- 756 с
Тепло-обмінник	Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты хим. технологии	М.: Химия, Москва 1971 – С.261

Висновок. У результаті проведеного патентного дослідження встановлено, що пропонований апарат і його складові частини відповідають умовам патентної чистоти винаходу (корисної моделі) через те, що усі суттєві ознаки найближчих аналогів не використано в проектних апаратах.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Лат		

**Додаток Г**  
**Патенти, які використані в патентному дослідженні**

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Лат		

**Додаток Д**  
**Публікації автора**

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Пілпис	Лат		

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Пілпис	Лат		



## Зміст

А.1 Розробка технологічного процесу виготовлення деталі.....	3
А.1.1 Призначення, умови роботи деталі у вузлі машини чи апарату .....	129 <sup>3</sup>
А.1.2 Технологічний аналіз процесу виготовлення деталі .....	129 <sup>3</sup>
А.1.3 Вибір і обґрунтування вибору заготовки .....	4
А.1.4 Розрахунок припусків на механічну обробку торця валу .....	5
А.1.5 Розрахунок режимів різання паза шпонки 20h9 .....	7
А.1.6 Визначення норм часу на фрезерування шпоночного пазу .....	8
А.2.1 Розрахунок припусків на обробку .....	10
А.3 Розробка пристрою.....	17
А.3.1 Призначення, опис конструкції і робота пристрою для встановлення і закріплення деталі для одиниці операції .....	17

					ЛМ71мп.066620.001ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розробив		Метліна			Технологічний процес виготовлення валу			Лит.	Аркуш	Аркушів	
Перевірів		Двойнос								2	
Т. Контр.								МАХНВ, ІХФ НТУУ «КПІ»			
Н. Контр.											
Затверд.											

## Вступ

Метою даного розділу дипломного проекту являється розробка технологічного процесу виготовлення деталі - «вал» і проектування оснастки для однієї з операцій виготовлення деталі.

В процесі виконання роботи вирішуються наступні завдання:

- розробка технології виготовлення деталі „вал”, в яку входить вибір методу отримання заготовки і розрахунок припусків, вибір устаткування і інструментів для кожної операції, розрахунок режимів і сил різання і норм часу;
- проектування верстатного пристрою для фрезерування шпоночного пазу.

### A.1 Розробка технологічного процесу виготовлення деталі

#### A.1.1 Призначення, умови роботи деталі у вузлі машини чи апарату

На валу за допомогою шпоночного з'єднання закріплено мішалку. На дану деталь діє вигинаючий та крутний моменти, отже вона являється відповідальною та напруженою. Дефекти внутрішні і зовнішні не допускаються.

#### A.1.2 Технологічний аналіз процесу виготовлення деталі

За допомогою стандартних ріжучих інструментів можна легко різати матеріал даної деталі. Немає таких поверхонь, які були б недоступними для ріжучого інструмента. Степені поверхні обертання зменшуються в одному напрямку, що є технологічно.

Твердість матеріалу є підвищеною для збільшення міцності деталі при роботі в умовах статичного навантаження. Це в свою чергу вимагає механічної обробки деталі на знижених режимах.

Дана деталь являється відповідальною. Якщо її неправильно виготовити чи неточно провести обробку, то весь апарат буде не працездатним. Тобто при

					ЛН71мп.066620.001ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

невиконання заданих вимог по виготовленні валу, такі вузли як сальникове ущільнення, підшипники, перемішувачий пристрій не будуть працювати у встановленому режимі. Так як деталь складається з уніфікованих конструктивних елементів оптимальної ступені точності і шорсткості поверхні, то є можливим використання високопродуктивного обладнання і стандартної оснастки.

Всі технічні вимоги встановлені в залежності від службового призначення виробу і визначаються ступенем точності деталі.

В цілому деталь технологічна.

### **А.1.3 Вибір і обґрунтування вибору заготовки**

В якості заготовки вибираємо прокат гарячекатаний круглий, звичайної точності прокатки В по ГОСТ 2590-88, марки 12Х18Н10Т, який пройшов термічну обробку.

Розміри заготовки:

- діаметр  $D=80$  мм;
- довжина  $L=6130$  мм.

Маса деталі  $q=241,88$  кг.

Приймаєм межу маси заготовки 250-300 кг.

Об'єм заготовки очікуваний,  $m^3$ :

$$V = \frac{\pi \cdot D^4 \cdot L}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,085^4 \cdot 6,134}{4} = 0,00025$$

Ступінь складності – С2 за ГОСТ 7505–89.

Вихідний індекс – 14 за ГОСТ 7505–89.

Основні та додаткові припуски та допуски назначаємо згідно ГОСТ 7505–89.

					ЛН71мп.066620.001ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця А.1 Розміри заготовки з допуском

Поверхня, що оброблюється	Шорсткість $R_a$ , мм	Припуск на розмір, мм	Розмір заготовки, мм		Відхилення розмірів, мм
			Розрахунковий	Прийнятий	
Ø 85	1,6	$\begin{matrix} 2 \\ (1,9+0,3) \end{matrix}$	Ø 85	Ø 87	+1,2 / -2,1
Лінійні розміри					
6140	1,6	$2 \cdot (2+0,5)$	6140	6142	+ 1,8 / -1,0

Ескіз заготовки поданий на рисунку А.1:

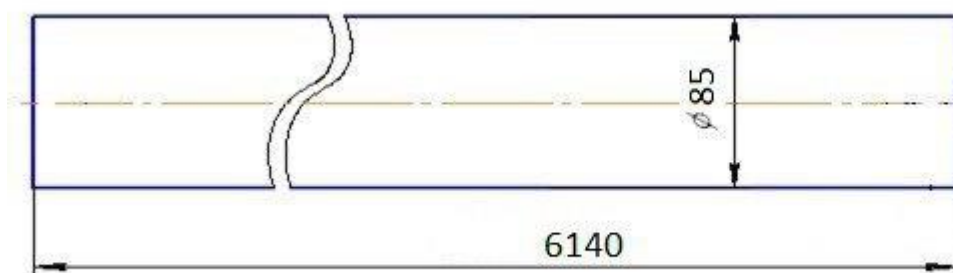


Рисунок А.1 – Ескіз заготовки

#### А.1.4 Розрахунок припусків на механічну обробку торця вала

Мінімальний припуск на обробку окремо розміщених площин (односторонній припуск на фрезерування) визначаємо по формулі:

$$Z_i = (R_z + h)_1 + \Delta_{\Sigma 1} + \varepsilon_2 = 500 + 90 + 1500 = 2090 \text{ мкм},$$

де  $R_{z1}$  – висота нерівностей профілю торця заготовки;

$h_1$  – глибина дефектного поверхневого шару торця заготовки;

$\Delta_{\Sigma 1}$  – сумарні просторові відхилення розміщення оброблюваної поверхні відносно технологічної бази заготовки;

$\varepsilon_2$  – похибка установки заготовки при фрезеруванні.

Таблиця А.2 Припуски на механічну обробку торця вала

					ЛН71мп.066620.001ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технологічні переходи при обробці площин	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск $Z_i$ , мкм	Розрахунковий розмір $H_i$ , мкм	Допуск, $T_i$ , мкм	Граничні розміри, мм		Граничні значення припусків, мм	
	$z$	$i$	$\Delta_{\Sigma l}$	$\varepsilon_y$				$H_{imi}$ n	$H_{imax}$	$Z_{imin}$	$Z_{imax}$ x
Заготовка	500		90	-	-	6135	13000	6135	6148	-	-
Фрезерування чорнове	100	100	3	1500	4180	6127	8000	6127	6130	13	3,25
									$Z_3$	13	18

Основні та додаткові припуски та допуски назначаємо [42] та літературою, наведеною у [43].

Просторові відхилення розміщення поверхонь при обробці площин враховують тільки їх жолоблення:

$$\Delta_{\Sigma \text{заг}} = \Delta_{\text{пжол}} \cdot D = 1 \cdot 90 = 90 \text{ мкм}$$

де  $\Delta_{\text{пжол}} = 1$  мкм – питоме жолоблення на 1 мм довжини заготовки;

$L$  – найбільший розмір оброблюваної поверхні у напрямку обробки.

Похибки установки при фрезеруванні при обробці площин визначають за формулою:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2} = \sqrt{1400^2 + 100^2} = 1500 \text{ мкм},$$

де  $\varepsilon_6$  – похибка базування;

$\varepsilon_3$  – похибка закріплення.

Згідно з ГОСТ 26645-85  $\varepsilon_6 = 1400$  мкм,  $\varepsilon_3 = 100$  мкм.

Одержані результати перевіряють за формулою:

$$T_{\text{загот}} - T_{\text{дет}} = Z_{\text{зmax}} - Z_{\text{зmin}},$$

де  $T_{\text{загот}}$ ,  $T_{\text{дет}}$  – допуски на заготовку і деталь відповідно;

$Z_{\text{зmax}}$ ,  $Z_{\text{зmin}}$  – максимальний і мінімальний загальний припуск.

					ЛН71мп.066620.001ПЗ		Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$T_{\text{загот}} - T_{\text{дет}} = 13000 - 8000 = 5000 \text{ мкм}$$

$$Z_{\text{зmax}} - Z_{\text{зmin}} = 18 - 13 = 5 \text{ мм}$$

Остаточно приймаю припуск на обробку 18 мм.

### А.1.5 Розрахунок режимів різання паза шпонки 20h9

Вихідною величиною подачі при чорновому фрезеруванні є її величина на один зуб  $S_z = 0,05 \text{ мм/зуб}$ .

Подача на один зуб  $S_z$ , подача на один оберт фрези  $S$  і подача хвилину  $S_m$ , знаходяться в наступному співвідношенні:

$$S_x = S \cdot n = 0,05 \cdot 4 = 0,2 \text{ мм / об.}$$

Швидкість різання – колова швидкість фрези  $v$ , м/с:

$$v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} \cdot K_v = \frac{12 \cdot 20^{0,25}}{90^{0,26} \cdot 0,2^{0,25}} \cdot 0,4 = 4,71 \frac{\text{м}}{\text{хв}},$$

де  $C_v=12$ ;  $q=0,3$ ;  $x=0,3$ ;  $y=0,25$ ;  $u=0$ ;  $p=0$ ;  $m=0,26$ ;  $T=90$ .

Загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання, що враховує фактичні умови різання:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{iv} \cdot K_{lv} = 1 \cdot 0,5 \cdot 0,8 = 0,4,$$

де  $K_{mv}=1$  – коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу;

$K_{lv}=0,8$  – коефіцієнт, який враховує стан поверхні заготовки;

$K_{iv}=0,5$  – коефіцієнт, що враховує матеріал інструмента.

Розрахункова частота обертання:

$$n = \frac{v}{\pi \cdot D} = \frac{4,71}{3,14 \cdot 0,02} = 75 \text{ об/хв}$$

Головною складовою сили різання при фрезеруванні являється колова сила:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot B^y \cdot Z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{тр} = \frac{10 \cdot 218 \cdot 0,5^{0,92} \cdot 25^1 \cdot 2}{20^{1,15} \cdot 75^0} \cdot 1,1 = 1837 \text{ Н}$$

де  $Z=2$  – число зубів фрези;

$C_p=218$  – коефіцієнт;  $x=0,92$ ;  $y=0,78$ ;  $u=1$ ,  $q=1,15$ ,  $w=0$ .

					ЛН71мп.066620.001ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Горизонтальна сила (сила подачі)  $P_h = 0,4 \cdot P_z = 0,4 \cdot 1837 = 735,1 \text{ Н}$ .

Вертикальна  $P_v = 0,8 \cdot P_z = 0,8 \cdot 1837 = 1470 \text{ Н}$ .

Радіальна сила  $P_y = 0,4 \cdot P_z = 0,4 \cdot 1837 = 735,1 \text{ Н}$ .

Осьова сила  $P_x = 0,5 \cdot P_z = 0,5 \cdot 1837 = 918,9 \text{ Н}$ .

Потужність різання:

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{1837 \cdot 4,71}{1020 \cdot 60} = 0,14 \text{ кВт.}$$

Крутний момент:

$$M_{\text{кр}} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100} = \frac{1837 \cdot 20}{2 \cdot 100} = 183 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

#### **А.1.6 Визначення норм часу на фрезерування шпоночного пазу**

Норми штучно – калькуляційного часу, що витрачається на виконання операції фрезерування шпоночного паза вала, розраховується за формулою:

$$\begin{aligned} T_{\text{шт}} &= T_{\text{ш}} + \frac{T_{\text{п.з}}}{n} = T_0 + T_{\text{в}} + T_{\text{обс}} + T_{\text{пп}} + \frac{T_{\text{п.з}}}{n} = \\ &= 2,2 + 0,91 + 0,1 + 0,19 + (18/1) = 21,4 \text{ хв,} \end{aligned}$$

де  $n$  - кількість заготовок в партії,  $n = 1$  хв;

$T_{\text{пз}}$  - норма підготовчо-заключного часу на обробку партії заготовок, хв.;

$T_{\text{п.з}}$  - норма підготовчо – заключного часу на обробку партії

заготовок,  $T_{\text{п.з}} = 18$  хв;

$T_{\text{обс}}$ ,  $T_{\text{пп}}$  – час обслуговування робочого місця та час перерв на особисті потреби приймають у відсотках від оперативного часу:

$$T_{\text{обс}} = 0,035 \cdot T_{\text{опер}} = 0,035 \cdot 3,11 = 0,1 \text{ хв,}$$

$$T_{\text{пп}} = 0,06 \cdot T_{\text{опер}} = 0,06 \cdot 3,11 = 0,1 \text{ хв.}$$

Основний час для виконання одного переходу:

					ЛН71мп.066620.001ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{\text{осн}} = \frac{L}{S} = \frac{l + l_{\text{вр}} + l_{\text{пер}}}{S_0 \cdot n_d} = \frac{48 + 9,5 + 2}{0,15 \cdot 182} = 2,2 \text{ хв},$$

де  $L = 59,5$  мм – розрахункова довжина обробки, тобто загальна довжина робочого ходу інструмента, яка складається з:

$l = 48$  мм – довжина оброблюваної поверхні;

$l_{\text{вр}} = 9,5$  мм – довжина врізання;

$l_{\text{пер}} = 2$  мм – довжина перебігу інструмента;

$T_d = 0,91$  хв – норма допоміжного часу, для визначення якого виписують усі допоміжні роботи, які проводяться при виконанні операції фрезерування шпоночного паза.

Розрахуємо операційний час за формулою:

$$T_{\text{опер}} = T_{\text{осн}} + T_{\text{доп}} = 2,2 + 0,91 = 3,11,$$

Складові норми допоміжного часу подані в таблиці А.3

Таблиця А.3 – Допоміжний час при фрезеруванні шпоночного пазу

Дії верстатника	Норма часу, хв.
Очистити пристрій від стружки	0,09
Установити заготовку і зняти	0,15
Закріпити і відкріпити заготовку	0,6
Допоміжний час, пов'язаний з виконанням двох Переходів	0,07
Всього, $T_B$	0,91

## А.2 Розробка технологічного процесу виготовлення деталі

Операція 005. Токарна

					ЛН71мп.066620.001ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1. Точити поверхню  $\varnothing 80h8$
2. Підрізати торець 6130 мм
3. Чорнове точіння поверхню  $\varnothing 75$  мм
4. Чистове точіння поверхню  $\varnothing 70$  мм

Операція 015. Фрезерування

1. Фрезерувати паз 14x80 мм

#### А.2.1 Розрахунок припусків на обробку

Для циліндричної зовнішньої поверхні ( $\varnothing 70$ ) припуск визначають за формулою:

$$2 \cdot z_{i \max} = 2 \cdot \left[ (R_{z_{i-1}} + h_{i-1}) + \sqrt{(\rho_{i-1})^2 + \varepsilon_y^2} \right], \quad (A1)$$

де  $R_{z_{i-1}}$  – висота нерівностей профілю на попередньому переході;

$h_{i-1}$  – глибина дефектного поверхневого шару на попередньому переході;

$\Delta_{\sum_{i-1}}$  – сумарне відхилення розташування поверхні, отримане в результаті виконання попереднього переходу;

$\varepsilon_i$  – похибка встановлювання заготовки на переході що виконується.

Визначаємо по формулі А.1 величину мінімального припуску на чорнове точіння:

$$\begin{aligned} 2z_{\min 2} &= 2 \cdot \left[ (R_z + h)_1 + \sqrt{(\rho_{i-1})^2 + \varepsilon_1^2} \right] = \\ &= 2(150 + 200 + \sqrt{(500)^2 + 420^2}) = 435 \text{ мкм}, \end{aligned}$$

де  $(R_z + h)_1 = 350 \text{ мкм.}$ ,  $\varepsilon_1 = 420 \text{ мкм.}$

					ЛН71мп.066620.001ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для литих поверхонь і поверхонь отриманих після механічної обробки, значення  $R_z$  і  $h$  вибираємо з таблиць та записуємо в відповідні графи таблиці А1.

Сумарне відхилення:

$$\rho_{заг} = \sqrt{\rho_e^2 + \rho_{жс}^2};$$

$$\Delta_{\kappa} = 0,8$$

$$\rho_{жс} = \sqrt{(\Delta_{\kappa} \cdot d) + (\Delta_{\kappa} \cdot l)} = \sqrt{(0,8 \cdot 254)^2 + (0,8 \cdot 53)^2} = 207,57 \text{ мкм}$$

$$\rho_e = \sqrt{\rho^2 + \rho_{жс}^2} = \sqrt{1000^2 + 207,57^2} = 1021,31 \text{ мкм}$$

$$\rho_{заг} = \sqrt{\rho_e^2 + \rho_{жс}^2} = \sqrt{1021,31^2 + 207,57^2} = 1042,18 \cong 1040 \text{ мкм}$$

Визначаємо по формулі А.1 величину мінімального припуску на чистове точіння:

$$\begin{aligned} 2z_{\min 3} &= 2 \cdot \left[ (R_z + h)_2 + \sqrt{(\rho_{i-1})^2 + \varepsilon_3^2} \right] = \\ &= 2(50 + 50 + \sqrt{(60^2 + 25^2)}) = 165 \text{ мкм} \end{aligned}$$

Залишкове просторове відхилення:

$$\rho_i = \rho_{заг} \cdot K_{yi}$$

після чорнового розточування :  $\rho_1 = \rho_{заг} \cdot K_{y1} = 1000 \cdot 0,06 = 60 \text{ мкм}$

$$\varepsilon_2 = 25 \text{ мкм}$$

під розверстування:

$$\begin{aligned} 2z_{\min 4} &= 2 \cdot \left[ (R_z + h)_3 + \sqrt{(\rho_{i-1})^2 + \varepsilon_4^2} \right] = \\ &= 2(30 + 30 + \sqrt{40^2}) = 85 \text{ мкм} \end{aligned}$$

після чистового розточування:  $\rho_2 = \rho_{заг} \cdot K_{y2} = 1000 \cdot 0,04 = 40 \text{ мкм}$

$R_z$  – висота нерівностей профілю на попередньому переході;

$h_{i-1}$  – глибина дефектного поверхневого шару на попередньому переході (відбілений шар);

					ЛН71мп.066620.001ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\rho_{i-1}$  – сумарне відхилення розташування поверхні, отримане в результаті виконання попереднього переходу (відхилення від паралельності, перпендикулярності, співвісності, симетричності);

$\varepsilon_y$  – похибка встановлювання заготовки на переході що виконується.

Технологічний маршрут обробки валу ( $\varnothing 70h9$ ) складається з чорнового і чистового розточування та шліфування. Розточування та шліфування проводять в трьохкулачковому патроні.

Найбільші граничні розміри розраховуємо відніманням допуску до округленого найменшого граничного розміру:

$$d_{i\max} = d_{i\min} - T_i$$

$$d_{\text{загmin}} = d_{1\max} - T_1 = 75,0 \text{ мм}$$

$$d_{2\min} = d_{2\max} - T_2 = 70,002 - 0,019 = 70,021 \text{ мм}$$

Граничні значення припусків  $z_{i\max}$  визначаємо як різниця найбільших граничних розмірів і  $z_{i\min}$  – як різниця найменших граничних розмірів попереднього і виконуваного переходів:

$$2 \cdot z_{i\max}^{zp} = d_{i\min} - d_{(i-1)\min};$$

$$2 \cdot z_{1\max}^{zp} = d_{2\min} - d_{1\min} = 70,021 - 70,641 = 4479 \text{ мкм}$$

$$2 \cdot z_{i\min}^{zp} = d_{i\max} - d_{(i-1)\max}$$

$$2 \cdot z_{2\min}^{zp} = d_{2\max} - d_{1\max} = 70,002 - 70,521 = 519 \text{ мкм}$$

Виконуємо перевірку вірності розрахунків:

$$2 \cdot z_{1\min} + 2 \cdot z_{2\min} + T_{\text{заг}} + T_2 = 3619 + 500 + 740 + 19 = 4878 \text{ мм}$$

$$D_{2\max} - D_{\text{загmin}} = 70,002 - 75,0 = 4998 \text{ мм}$$

Тобто розрахунки вірні.

В даному випадку визначаємо номінальний припуск з врахуванням симетричності розташування поля допуску заготовки.

					ЛН71мп.066620.001ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

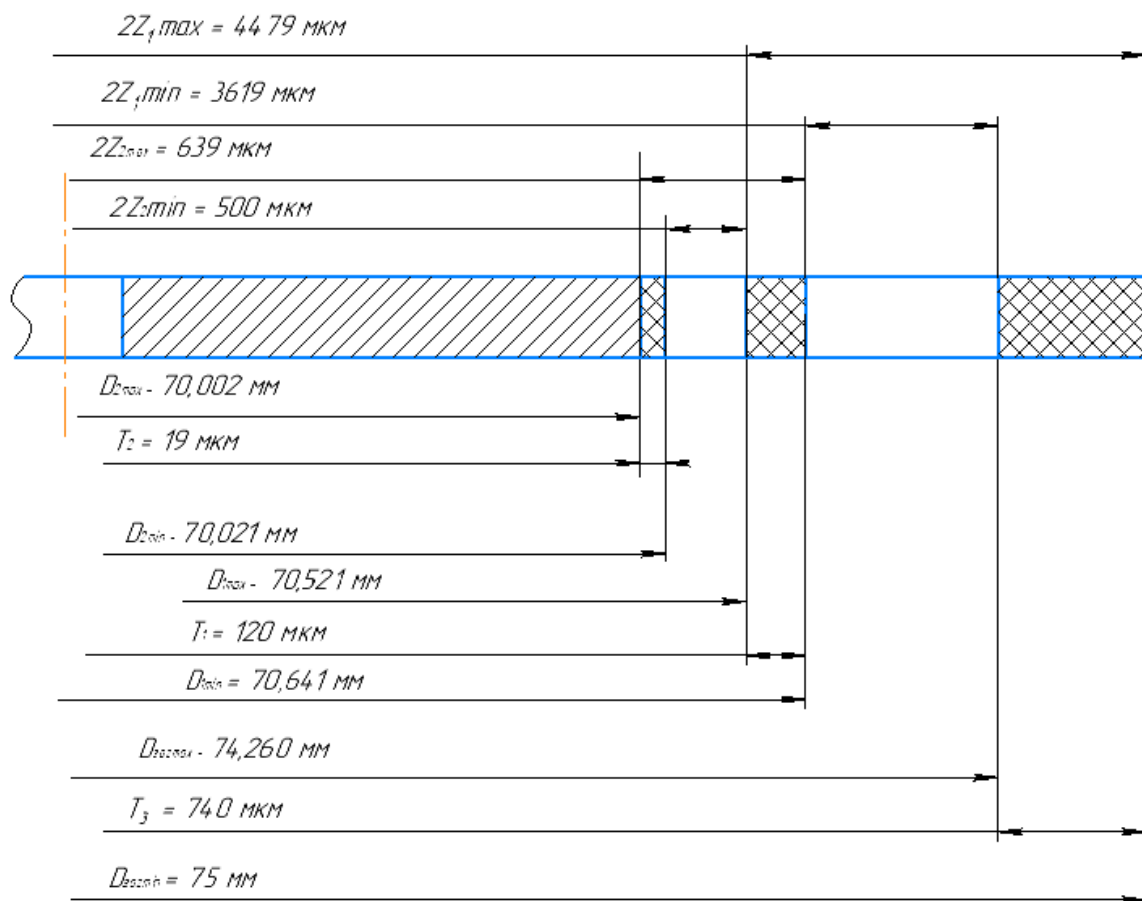


Рисунок А2 – графічний спосіб визначення розмірів при переходах  
точіння валу Ø70Н6

Таблиця 2. Розрахунок припусків та граничних розмірів по технологічних  
переходах обробки валу Ø70Н6

Технологічні переходи обробки	Елементи припуску, мкм				$2z_{\text{min}}$ , мкм	Розрахунок	Допуск $T$ , мкм	Граничні розміри, мм		Граничне значення припуску, мм	
	Rz	h	$\rho$	$\epsilon$				dmin	dmax	$2z_{\text{min}}$ гр	$2z_{\text{max}}$ гр
Заготовка	150	200	1000	-	-	75	740	74,260	75	-	-
Чорнове розточування	50	50	60	420	2470	75	120	70,521	70,641	3,619	4,479
Чистове розточування	30	30	40	-	500	75	19	70,002	70,021	0,500	0,639
Всього										4,119	5,118

### А.2.2 Розрахунок режимів різання Ø75h10

1) Розточити отвір Ø75 до Ø70h10 (чорнове точіння).

Глибина різання:  $t_{\text{чорн}} = 1,2$  мм, подача  $s_{\text{чорн}} = 0,6$  мм/об.

Період стійкості різця з врахуванням напівавтоматичного режиму різання станка приймаємо підвищену:  $T = 90$  хвилин.

Швидкість різання:

$$V_{\text{чорн}} = \frac{C_V}{T^m \cdot t^x \cdot S^y \cdot 60} \cdot K_V = \frac{620}{90^{0,2} \cdot 1,2^{0,15} \cdot 0,6^{0,2} \cdot 60} \cdot 0,42 = 1,9 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 114 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$$

де коефіцієнти  $C_V, x, y, m$  – табличні значення, для сталюого литва і різця з твердим сплавом:  $C_V = 620$ ,  $x = 0,15$ ,  $y = 0,2$ ,  $m = 0,2$ .

Коефіцієнт швидкості розраховується за формулою:

$$K_V = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \cdot K_{\phi} \cdot K_r = 1,0 \cdot 0,65 \cdot 0,7 \cdot 0,97 \cdot 0,94 = 0,42,$$

де  $K_{mv} = 1,0$  – коефіцієнт, який залежить від матеріалу, що оброблюється;

$K_{nv} = 0,65$  – коефіцієнт, який враховує стан обробленої поверхні;

$K_{uv} = 0,7$  – коефіцієнт, який враховує матеріал ріжучої частини інструмента;

$K_{\phi} = 0,97$  – коефіцієнт, який враховує кут у плані;

$K_r = 0,94$  – коефіцієнт, який враховує радіус ріжучої кромки інструменту.

Частота обертання:

$$n_{\text{чорн}} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 114}{3,14 \cdot 70} = 617 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Кінцеве значення, яке приймаємо:

$$n_{\text{чорн}} = 630 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

					ЛН71мп.066620.001ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тоді

$$V_{\text{чорн}} = \frac{3,14 \cdot 75 \cdot 90}{1000} = 21,19 \frac{\text{м}}{\text{хв}} = 0,35 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Хвилинна подача:

$$S_{\text{м}} = S \cdot n = 0,6 \cdot 90 = 54 \frac{\text{мм}}{\text{хв}}$$

Сила різання:

$$P_{Z\text{чорн}} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p = 10 \cdot 300 \cdot 0,9^1 \cdot 0,6^{0,75} \cdot 54^{-0,15} \cdot 0,75 = 758,89 \text{ Н}$$

де  $C_p, x, y, n$  – табличні значення для сталюого литва і різця з твердим сплавом :  $C_p = 300$ ,  $x = 1$ ,  $y = 0,75$ ,  $n = -0,15$ .

Коефіцієнт  $K_p$  являє собою множення ряду коефіцієнтів:

$$K_p = K_{\text{мр}} \cdot K_{\text{фр}} \cdot K_{\text{гр}} \cdot K_{\text{лр}} \cdot K_{\text{гп}} = \left( \frac{600}{750} \right)^{0,75} \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,75$$

де  $K_{\text{мр}} \cdot K_{\text{фр}} \cdot K_{\text{гр}} \cdot K_{\text{лр}} \cdot K_{\text{гп}}$  – коефіцієнти, які враховують фактичні умови різання. Значення цих коефіцієнтів табличні.

Потужність різання:

$$N_{\text{чорн}} = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{758,89 \cdot 0,35}{1020 \cdot 60} = 0,0043 \text{ кВт}$$

### А.3 Розробка пристрою

#### А.3.1 Призначення, опис конструкції і робота пристрою для встановлення і закріплення деталі для одиниці операції

Пристосування розроблено для фрезування шпонкового пазу.

					ЛН71мп.066620.001ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пристосування кріпиться до столу станка. Після чого в систему через штуцер подається повітря тиском  $P=0,4\text{МПа}$ , що дозволяє за допомогою поршня і прихвату прижати заготовку до основи (призми) механічно обробити поверхню.

По закінченні обробки, тиск в системі скидається через штуцер і прихват відходить, що дозволяє зняти заготовку.

Розрахуємо зусилля зажиму, яке створює пристосування. Для цього розглянемо схему пристосування, рисунок А.3.

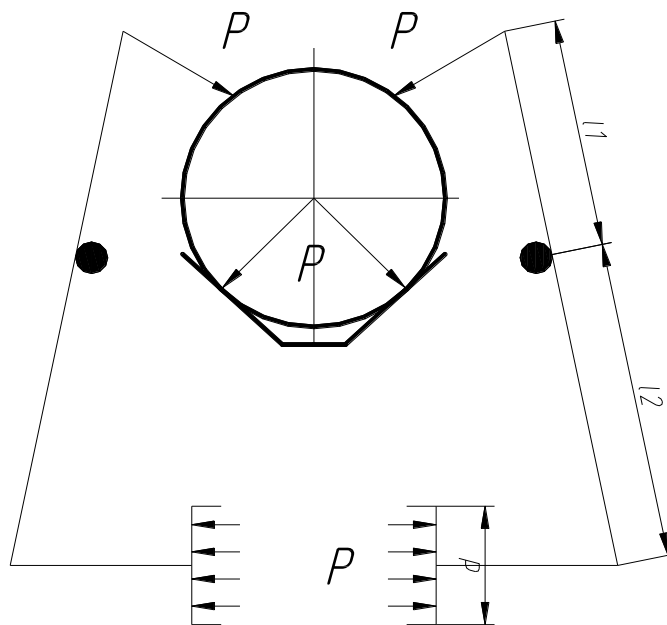


Рисунок А.3 - Схема пристосування

А.3.2 Розрахунок параметрів роботи пристрою, які забезпечують надійне кріплення деталі

Зусилля, що діють в пристосуванні рівні:

$$Q = P_c \cdot S = 0,4 \cdot 11,3 \cdot 10^{-3} = 4,52 \cdot 10^{-3} \text{ МН} = 4522 \text{ Н},$$

$$\text{де } S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,12^2}{4} = 11,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \text{ — площа поперечного перерізу}$$

поршня;

					ЛН71мп.066620.001ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$D = 0,12\text{ м}$  - діаметр поршня;

$P_c = 0,4\text{ МПа}$  - тиск повітря в системі.

Крутний момент:

$$M_{KP} = (P_1 \cdot l_1 + P_2 \cdot l_2)$$

Звідси зусилля зажиму, яке створює пристосування рівне:

$$P_1 = P_{IP} = \frac{M - P_2 \cdot l_2}{l_1} = \frac{29,29 - 732 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{15 \cdot 10^{-3}} = 976,7\text{ Н} = 0,976\text{ кН}$$

Перевіримо навантажену ланку пристосування – шток, на міцність. Шток працює на стискання.

$$\sigma = \frac{Q}{F} = \frac{4522 \cdot 10^{-6}}{9,62 \cdot 10^{-4}} = 4,7\text{ МПа},$$

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,035^2}{4} = 9,62 \cdot 10^{-4}\text{ м}^2,$$

де  $d = 0,035\text{ м}$  – діаметр штоку.

Умова міцності:

$$\sigma \leq [\sigma]$$

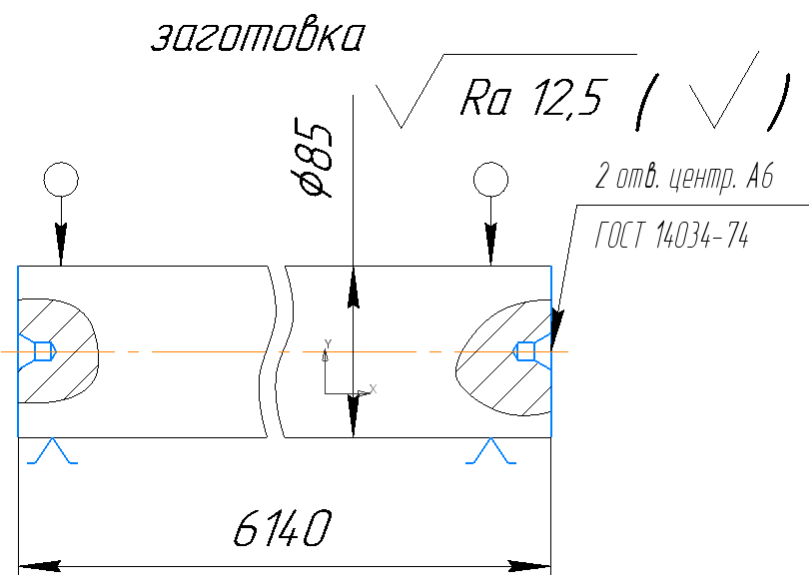
$$[\sigma] = 350\text{ МПа}$$

$$4,7\text{ МПа} < 350\text{ МПа}$$

Висновок: умова міцності виконується.

					ЛН71мп.066620.001ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

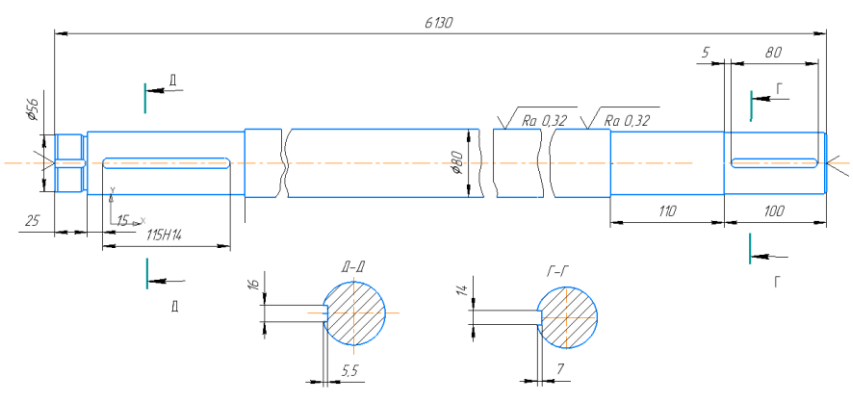


КПІ ім. Ігоря Сікорського ІХФ МАХНВ						Операційна карта механічної обробки						ЛН71мп.066620.001				ЛН71мп. 60141.00001															
												Вал																			
<div>заготовка</div> 														Ном. цеху	Ном. ділян.	Ном. операц.	Найменування операції														
														5	2	05	Фрезерно-центровальна														
														Найменування та марка матеріалу						Маса деталі	Заготовка										
																					Профіль та розміри				Твердість		Маса				
														12X18H10T						241,88	85				250 HB		300				
														Кіль. одночас. оброб.дет.						Обладнання (найменування, модель)											
																				Станок МР-75											
														Прийомлення (код та найменування)						Патрон трикулачковий самоцентруючий пневматичний						Охолодження					
Емульсія																															
Но-мер пере-ходу	Зміст переходу					Інструмент (код, найменування)					Розрах. розмір		Режим обробки					T <sub>0</sub>	T <sub>д</sub>												
						допоміжний	ріжучий		вимірювальний	діаметр, ширина	довжина	t	i	S	n	V															
1	2					3	4		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14													
1	Установити, закріпири зняти після обробки																	4													
2	Фрезерувати торці						Торцева фреза 120 T15K6		Штангельциркуль-10-125Г	85	6140	5	1	0,35	742	0,35	2,5	1,0													
3	Центрувати отвори						Свердло центрів T15K6 Ø5		Каліб-пробка 5 спеціальна	5	12,5	2,5	1	0,35	742	0,35	0,12	0,2													
																		Розробив	Метліна					Аркуш							
																		Перевірів	Двойнос					1							
																								Аркушів							

[illegible]

	Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Н. контр.					2		
Інв. № ор.		Підпис і дата		Зам. інв. №		Інв. № дубл.		Підпис і дата										
										ЛН71мп.066620.001			ЛН71мп.60141.00002					
№ пере-ходу	Зміст переходу			Інструмент ( код і найменування )					Розр. розміри		Режим обробки					То	ТВ	
				Допоміжний	Ріжучий	Вимірювальний			діаметр ширина	довжи-на	t	i	S	n	V			
4	Точити Ø70 начорно				Різець прохідний T15K6		Штангельциркуль (0...125)			75	100	6	3	0,2	630	3,3	3,2	5
5	Точити фаску 3×45°				Різець T15K6 фа- сонний		Шаблон			70	3		1	0,1	400	1,68	0,3	0,1
6	Точити Ø80h8 начисто				Різець прохідний T15K6		Калібр–скоба Ø80h8			80	750	3	1	0,2	1000	4,0	10,6	8
7	Точити Ø75 начисто				Різець прохідний T15K6		Калібр–скоба Ø75h14			75	110	3	1	0,2	1000	4,0	10,5	6
8	Точити Ø70 начисто				Різець прохідний T15K6		Калібр–скоба Ø70h14			70	100	3	1	0,2	1000	4,0	10,5	6
																		Арк .
																		2
			Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

КПІ ім. Ігоря Сікорського ІХФ МАХНВ						Операційна карта механічної обробки					ЛН71мп. 066620.001		ЛН71мп.60141.00003												
											Ном. цеху	Ном. ділн.	Ном. операц.	Найменування операції											
											5	2	15	Свердління											
											Найменування та марка матеріалу					Маса деталі	Заготовка					Твердість	Маса		
																	Профіль та розміри								
											Кіль. одночас. оброб.дет.			Обладнання (найменування, модель)											
											1			Вертикально-свердлильний 1Р135Ф2											
											Пристосування (код та найменування)			Патрон трикулачковий самоцентруючий пневматичний					Охолодження						
Емульсія																									
Но- мер пере- ходу	Зміст переходу					Інструмент (код, найменування)				Розрах. розмір		Режим обробки					T <sub>0</sub>	T <sub>д</sub>							
						допоміжний	ріжучий	вимірювальний	діаметр, ширина	довжина	t	i	S	n	V										
1	2					3	4			5		6	7	8	9	10	11	12	13	14					
1	Встановити і закріпити деталь																			1					
2	Свердління 8 отв. під різьбу М20 глибиною 45 мм						Свердло Ø18 2301-0042 ГОСТ 10903-77			Калібр- пробка Ø18Н16		18	50	9	1	0,3	250	12,5	0,4	0,6					
3	Нарізати різьбу М20-6Н						Метчик М20			Калібр- пробка М20- Н7		-	45	1	1	1,5	150	0,2	0,5	0,3					
4	Зняти деталь																			0,9					
											Розробив	Метліна							Аркуш						
											Перевірив	Двойнос							1						
																			Аркушів						
	Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Н. контр.								1						

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата													
КПІ ім. Ігоря Сікорського ІХФ МАХНВ		Операційна карта механічної обробки			ЛН71мп.715700.001		ЛН71мп.60141.00004										
					Вал												
					Ном. цеху	Ном. ділн.	Ном. операц.	Найменування операції									
					5	2	10	Фрезерування									
					Найменування та марка матеріалу		Маса деталі	Заготовка					Маса				
								Профіль та розміри			Твердість						
					12X18H10T		241,88										
					Кіль. одночас. оброб.дет.			Обладнання (найменування, модель)									
								Горизонтально-фрезерний станок 6632Д									
					Пристосування (код та найменування)		Патрон трикулачковий самоцентруючий пневматичний			Охолодження							
Емульсія																	
Но-мер пере-ходу	Зміст переходу					Інструмент (код, найменування)			Розрах. розмір		Режим обробки					T <sub>0</sub>	T <sub>д</sub>
						допоміжний	ріжучий	вимірювальний	діаметр, ширина	довжина	t	i	S	n	V		
1	2					3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Установити, закріпити, зняти після обробки																2
2	Фрезерувати паз 115×16×5,5						Фреза торцева Р6М5	Калібр – пробка 16N9	16	115	7	1	0,1	600	0,35	1,56	1,0
3	Фрезерувати паз 80×14×7						Фреза торцева Р6М5	Калібр – пробка 14N9	14	80	7	1	0,1	600	0,35	1,36	1,0
											Розробив	Метліна					Аркуш
											Перевірив	Двойнос					1
																	Аркушів
	Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Н. контр.						1
Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата													

## Зміст

Б.1 Опис технологічного процесу, як процесу автоматизації.....	2
Б.2 Основні рішення з автоматизації.....	3
Б.2.1 Системи контролю .....	3
Б.2.2 Автоматичне регулювання .....	4
Б.2.3 Технологічна сигналізація та захист .....	5
Б.2.4 Дистанційне керування виконавчими механізмами.....	6

					ЛН71мп.066620.001 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизація лінії виробництва біодизелю	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.	Метліна						1	8
Перевір.	Гулієнко							
Реценз.						КПІ ім . Ігоря Сікорського, ІХФ , МАХНВ		
Н. Контр.								
Затверд.								

## Автоматизація виробництва біодизелю

## Б.1 Опис технологічного процесу, як процесу автоматизації

В змішувач 9 поступають, відповідно етиловий спирт і каталізатор КОН, де відбувається їх ретельне перемішування, далі ця суміш надходить в реактор 11. Олія з теплообмінника 7 транспортується в реактор 11.

Суміш, що прореагувала розділяється на центрифугі 13, сирий біодизель відділяється від більш важкої фракції, що містить гліцерин, метанол і мило. Надлишок спирту відділяється від біодизелю у випарному апараті 14. Біодизель направляється в збірник.

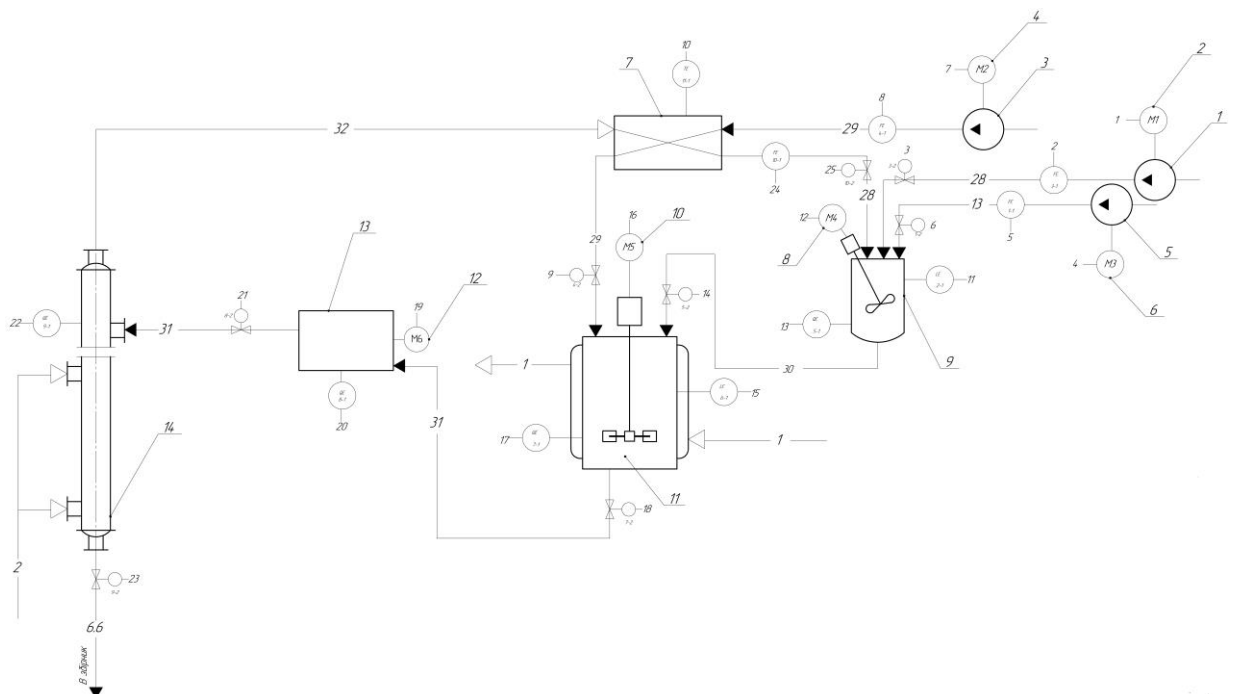


Рисунок Б.1 – Технологічна схема лінії виробництва біодизелю

1,3,5 – насос; 2,4,6,8,10,12 – двигун; 7– теплообмінник; 9 – змішувач; 11 – реактор; 13 – центрифуга; 14 – випарний апарат.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		2

Таблиця Б.1 – Параметри основного технологічного режиму

Назва параметру	Контроль	Регулювання	Сигналізація та захист	Дист. керування
Витрати компонентів, які потрапляють до змішувача 9 та реактора 11	+	+	+	+
Рівень компонентів у змішувачі 9 та реактора 11 $L = 0,7 \cdot H$ , м	+	+	+	+
Концентрація компонентів у змішувачі 9, реактора 11, центрифугі 13 а випарному апараті 14	+	+	+	+
Температура в теплообміннику 7 $T = 40 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	+	+	+	+
Потужність насосів	+	-	-	+

## Б.2 Основні рішення з автоматизації

### Б.2.1 Системи контролю

Функціональна схема автоматизації лінії виробництва біодизелю включає в себе системи контролю якості, витрат та температури.

Для контролю витрат на трубопроводах використовуємо такі технічні засоби:

Позиція 1-1, 3-1, 4-1, 10-1 - перетворювач витрат вимірювальний електромагнітний.

Для контролю процесів, які відбуваються в змішувачі 9 та реакторі 11

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		3



використовуємо такі технічні засоби, як:

Позиція 2-1, 6-1 – Рівнемір середовища ультразвуковий з електромеханічним перетворювачем.

Позиції: 5-1, 7-1 – концентратомір компонентів кондуктометричний.

Позиції: 5-2, 7-2 – проміжний перетворювач, який знаходиться на щиті керування.

Для контролю процесів, які відбуваються в теплообміннику використовуємо такі технічні засоби, як:

Позиція 11-1 - Термоелектричний перетворювач.

Для контролю процесів, які відбуваються в центрифугі 13 та випарному апараті 14 використовуємо:

Позиції: 8-1, 9-1 – концентратомір компонентів кондуктометричний.

Мікроконтролер виконує такі функції контролю як вимірювання, індикація, реєстрація і керування.

### **Б.2.2 Автоматичне регулювання**

Функціональна схема автоматизації лінії виробництва біодизелю включає автоматичне керування концентрації, витрат температури та рівня середовища.

Для регулювання та керування витрат на трубопроводах використовуємо такі технічні засоби:

Коли витрати у трубопроводі набувають достатнього значення, реагують позиції 1-1, 3-1, 4-1, 10-1 – рівнеміри ультразвукові з електромеханічним перетворювачем, в яких сигнал перетворюється, реєструється, архівується і поступає звітти на регулюючі пристрої 1-2, 3-2, 4-2, 10-2 відповідно.

Для регулювання та керування процесами, які виконуються у змішувачі 9 та реакторі 11 використовуємо такі технічні засоби, як:

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		4

Коли рівень рідини у змішувачі 9 та реакторі 11 набуває достатнього, реагують позиції 2-1, 6-1 – рівнеміри ультразвукові з електромеханічним перетворювачем, в яких сигнал перетворюється, реєструється, архівується спрацьовує захист і сигнал звідти йде на двигуни М4, М5 відповідно.

Позиції 5-1, 7-1, 8-1, 9-1 – Концентратомір кислотності кондуктометричний, призначений для вимірювання концентрації. Коли концентрація у змішувачі 9, реакторі 11, центрифугі 13 та випарному апараті 14 достатня, спрацьовує автоматичне регулювання процесом з концентратомірів сигнал подається на перетворювачі, які знаходяться на щиті, сигнал реєструється, архівується і поступає звідти на регулюючі пристрої 5-2, 7-2, 8-2, 9-2 відповідно.

Для регулювання та керування процесом, який виконується в теплообміннику 7, використовуються такі технічні засоби, як:

Позиція 11-1 - термоелектричний перетворювач, призначений для вимірювання температури і передачі сигналу на показуючі прилади і посилення сигналу на регулюючі пристрої.

### **Б.2.3 Технологічна сигналізація та захист**

Технологічна сигналізація у процесі виробництва біодизелю встановлена на контроль параметрів: концентрація та рівень суспензії в змішувачі 9, реакторі 11, центрифугі 13 та випарному апараті 14.

Сигналізація спрацьовує при досягненні максимального чи мінімального значення контрольованого параметра (концентрація в змішувачі 9). Замкнеться контакт в приладі і утворюється замкнутий ланцюг живлення для електромагніту. Реле спрацьовує, внаслідок чого перемикаються його контакти. Контакт (нормально замкнений) розмикається і гасне лампочка, а контакт (нормально розімкнутий) замикається і загорається лампочка. Після

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		5

того, як температура унормується, контакт в приладі розмикається, ланцюг живлення електромагніту розривається. Реле спрацьовує і контакти перемикаються назад. Припиняє світитися лампочка.

На схемі не показано сигналізації. Всі ланцюги сигналізації побудовані за типовим варіантом.

Захист або ж блокування може спрацьовувати в декількох випадках:

1. Відсутність тиску в трубопроводі на виході насосів.
2. Концентрація сировини, яка потрапляє до змішувача 9, реактора 11, центрифуги 13 та випарного апарату 14 недостатня.
3. Рівень перевищує норму.
4. Температура перевищує допустиму норму.

Захист спрацьовує, коли замикається контакт приладу при малому тиску в трубопроводі після насоса. Внаслідок замикається контакт 1 реле 1, загорається сигнальна лампочка, далі замикається контакт реле 2 і загорається лампочка, які означають, що впав тиск і спрацювало реле 1 і 2. В схемі включення-виключення електродвигунів розмикаються контакти реле 2, а контакти реле 1 відключають регулятори від клапанів. Перемикаючись, контакти реле 1 відключають регулятор від клапана і підключають його до опору навантаження для того щоб не збилися настройки, і регулятор буде формувати сигнал розузгодження далі. А клапани нормально закриті – закриваються.

#### **Б.2.4 Дистанційне керування виконавчими механізмами**

При роботі відцентрових насосів дуже часто між корпусом насоса і крильчаткою потрапляють тверді частинки. У результаті цього крильчатка зупиняється і зупиняється електродвигун, який може вийти з ладу. У цьому випадку (у випадку аварії) повинен спрацювати механічний захист: шпонка між крильчаткою і валом зрізається. При цьому починає наростати число

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		6

обертів електродвигуна, так як відсутній протидіючий момент навантаження.  
Тому повинен спрацювати електричний захист.

Аналогічна ситуація може статися і з двигуном перемішуючого пристрою. Різкий перепад напруг або ж потрапляння на вал (мотор) чужорідних деталей може призвести до виходу з ладу двигуна.

Електричний аварійний захист передбачає автоматичне відключення живлення електродвигуна при виході насоса з ладу.

					ЛН71мп. 066620.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		7

## Перелік приладів та технічних засобів автоматизації

Позиція на схемі	Назва параметра	Середовище, місце відбору інформації	Граничне значення параметра	Місце монтажу	Назва та характеристика	Кількість
1	2	3	4	5	6	7
1-1, 3-1, 4-1, 10-1	Витрата	Трубопр.	---	Трубопр.	Перетворювач витрат вимірювальний електромагнітний матеріал електродів сталь 12Х18Н10Т швидкість потоку 1,25...10 м/с Вихідний сигнал 0...5 мА.	4
2-1	Рівень	Змішувач	___ " ___	Змішувач	Рівнемір ультразвуковий з електромеханічним перетворювачем Матеріал поплавка Ст 12Х18Н10Т Межі вимірювання 0,35...12 м	2
6-1		Реактор	___ " ___	Реактор		
5-1	Концентрація	Змішувач	___ " ___	Змішувач	Концентратомір кондуктометричний, призначений для вимірювання концентрації розчину; межа вимірювання 0,5-100 См/м; межа основної припустимої похибки 0,4÷4%; вихідний сигнал 0-5 мА	4
7-1		Реактор	___ " ___	Реактор		
8-1		Центрифуга	___ " ___	Центрифуга		
9-1		Випарний апарат	___ " ___	Випарний апарат		
10-1	Температура	Теплообмінник	120..130°C	Теплообмінник	Термоелектричний перетворювач, діапазон вимірювання – 40...400 °С, довжина монтажної частини 500 мм; напруга живлення 12-36 В; робочий тиск 25 МПа; основна похибка 1,5%; вихідний сигнал 4-20 мА	1